

坑道及び坑内設備の
維持管理に関する調査

報 告 書

(核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書)

平成13年3月

三井建設株式会社

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課
Tel: 029-282-1122 (代表)
Fax: 029-282-7980
e-mail: jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構
(Japan Nuclear Cycle Development Institute) 2005

2001年3月

坑道及び坑内設備の維持管理に関する調査

(契約業務報告書)

勝沼 好夫[※] 中田 雅夫[※]
樋口 正典[※] 片居木 功[※]

要 旨

核燃料サイクル開発機構が岐阜県瑞浪市の正馬様洞用地に設置を計画している超深地層研究所の研究坑道は、地下1,000mまで展開され、立坑と水平坑道が様々な深度で接続されることになる。

これら坑道の掘削後の研究所としての運用段階における坑道の維持管理、及び本設となる坑内設備の維持管理の考え方やその実施方法について、既存の大深度地下の坑道における維持管理状況の調査結果や、施工経験等による知見を踏まえて調査、課題の整理、計画立案を行う。

本調査では、坑道及び坑内設備の維持管理に関して以下の調査・計画を行った。

- ① 超深地層研究所の坑道維持管理の参考とするため、国内外の鉱山等の大深度地下坑道における維持管理状況の調査と課題の整理
- ② 超深地層研究所の坑道（立坑、水平坑道）及び坑内に設置される設備を想定して、坑内設備、坑道、及び坑道排水設備の維持管理方法の調査、計画の例の立案
- ③ 立坑と水平坑道との設備、資機材等の搬入出設備の計画、特に、立坑完成後の中間ステージや予備ステージへのアクセスの容易さを考慮した計画の例

本報告書は、三井建設株式会社が核燃料サイクル開発機構との契約により実施した業務成果に関するものである。

機構担当課室：東濃地科学センター 施設計画グループ

※ 三井建設株式会社

目 次

	頁
1. 調査件名 -----	1
2. 調査の目的 -----	1
3. 調査の範囲 -----	1
4. 既存の大深度地下の坑道における維持管理状況の調査と課題の整理 -----	2
4.1 坑道維持 -----	2
4.1.1 坑道維持の考え方 -----	2
4.1.2 国内炭鉱の坑道維持と支保の例 -----	4
4.1.3 海外炭鉱の坑道維持と支保の例 -----	5
4.1.4 国内金属鉱山ほかの坑道維持と支保の例 -----	15
4.1.5 坑道維持方法 -----	17
4.1.6 坑道維持上の課題 -----	18
4.2 坑内設備維持 -----	20
4.2.1 炭鉱における坑内設備維持の概要 -----	20
4.2.2 通常時の坑内設備管理の方法 -----	21
4.2.3 異常時の坑内設備管理の方法 -----	28
4.2.4 坑内設備管理上の課題 -----	30
4.3 鉱山における主要設備の維持管理 -----	32
4.3.1 坑内設備の維持管理の考え方 -----	32
4.3.2 坑内設備の維持管理の方法 -----	32
4.4 坑内物流 -----	38
4.4.1 地下構築物における物流の特徴 -----	38
4.4.2 坑内物流（輸送）の方法 -----	38
4.4.3 坑内物流設備 -----	41
4.4.4 坑内物流に関する技術開発 -----	42
4.4.5 坑内物流の課題 -----	43

4.5 湧水対策	44
4.5.1 炭鉱における湧水対策	44
4.5.2 立坑掘削における湧水対策	46
4.5.3 湧水対策の課題	55
第4章 参考文献	56
5. 坑道（立坑、水平坑道）の維持管理に関する調査、計画立案	58
5.1 坑内設備の維持管理	58
5.1.1 維持管理の基本的考え方	58
5.1.2 立坑昇降仮設備	63
5.1.3 換気設備	81
5.1.4 空調設備	89
5.1.5 給水設備	92
5.1.6 排水設備	93
5.1.7 安全設備	97
5.1.8 電気設備	104
5.1.9 停電時の対応策と自家発電設備の計画	113
5.2 坑道の維持管理	118
5.2.1 坑道自体の安定性の維持管理	118
5.2.2 立坑覆工コンクリートの安定性の維持管理	147
5.3 坑道の排水設備の維持管理	164
5.3.1 立坑・水平坑道を掘削中の排水設備計画	164
5.3.2 立坑・水平坑道が完成後の排水設備計画	183
5.3.3 湧水量が想定より多い場合、及び少ない場合の対応策	185
第5章 参考文献	186
6. 立坑から水平坑道への設備、資機材等の搬入出設備の計画	188
6.1 計画条件	188
6.1.1 搬入機材の重量と形状の制限	188
6.1.2 搬入機材及び分解最大重量	189

6.2 接続部の形状と構造	-----	189
6.3 水平坑道への機材搬入	-----	190
6.4 掘削ずりの搬出	-----	191
6.5 吹付け材料の搬入	-----	191
6.6 人員の入出坑	-----	191
第6章 参考文献	-----	195
7. まとめ	-----	196

添付資料

1. 鉱山における主要設備等の維持管理関係書式の例	-----	添付1- 1
2. 建設用エレベーター・ゴンドラ設備の特定自主検査計画書の例	---	添付2- 1
3. 太平洋炭礦(株)釧路鉱業所における巻揚機ワイヤーロープの維持管理		添付3- 1
4. 設備機器保全の考え方	-----	添付4- 1
5. 超深地層研究所立坑 止水グラウト施工検討書	-----	添付5- 1

1. 調査件名

坑道及び坑内設備の維持管理に関する調査

2. 調査の目的

核燃料サイクル開発機構殿（以下、「サイクル機構殿」とする）が計画している超深地層研究所研究坑道は、立坑と水平坑道が様々な深度で接続されることになる。これらの坑道の掘削後の研究所としての運用段階における坑道の維持管理及び本設となる坑内設備の維持管理の考え方やその実施方法について、既存の大深度地下の坑道における維持管理状況の調査結果や、施工経験等による知見を踏まえて調査、課題の整理、計画立案を行う。

3. 調査の範囲

- (1) 既存の大深度地下の坑道における維持管理状況の調査と課題の整理
- (2) 坑道（立坑、水平坑道）の維持管理に関する調査、計画立案
 - ① 坑内設備の維持管理
 - ② 坑道の維持管理
 - ③ 坑道の排水設備の維持管理
- (3) 立坑から水平坑道への設備、資機材等の搬入出設備の調査、計画立案

4. 既存の大深度地下の坑道における維持管理状況の調査と課題の整理

4.1 坑道維持

4.1.1 坑道維持の考え方

地下に空間を構築する場合、その目的と用途に応じた無駄のない断面形状で掘削されなければならない。この時、地下空間が閉鎖空間であるという特殊性に依存した次に示すような用途が発生する。

- ・新鮮な空気（入気）を地表（坑外）から地下空間（坑内）に送る
- ・作業現場を通り機械の廃熱、粉じん、呼気等で汚染された空気（排気）を坑内から坑外に導く
- ・坑内で必要な資材、大型機械等を坑内に搬出入する
- ・作業員が入昇坑する 等

これらの用途のために掘削した断面を確保・維持する必要がある。岩盤が十分な強度を持っていない場合、天盤の崩落、側壁のせり出し、下盤の膨れ上がり（盤膨れ）等の現象が生じる。これを防止し断面を確保するために支保が行われる。もしこれらの現象により坑道が変形した場合には、速やかに修復し必要断面を確保しなければならない。これらの一連の作業を坑道維持と称する。

大深度地下のある1点には、地表からの岩盤の重量、地殻変動の際に発生した力（地圧）が作用している。これに対して、岩盤内部に相応する力（応力）が発生して均衡を保っている。岩盤内に空間を設けた場合、岩盤はそれまでの均衡状態を失い新しい均衡状態を形成する（応力の再配分）ために空間に向かって種々の挙動を起こす。この力を盤圧と称する。また岩石は圧縮には強いが、引張には非常に弱いという性質を持っている。

矩形断面の坑道を掘削した際には、通常、側壁には圧縮応力、天井面（天盤）、床面（踏前）には引張応力が作用する。このため天盤は引張応力による亀裂が生じ崩落し、側壁は圧縮応力のためせり出し、空間を狭める方向に向かおうとする。これに対し掘削した空間をそのままの形で維持することを目的として、種々の材料により支えることを支保と称する。

支保の材料には、木材、鋼材、コンクリート、ルーフボルト等が用いられている。

木材は施工が早く軽量であるという利点があるものの腐りやすく、強度が弱い。特に坑道が湿潤な場合、強度は 2/3 に低下する。したがって、これは維持期間の短い坑道の支保に供されることが多い。

鋼材は小さい断面で強度があり腐朽しにくいことから、維持期間の長い坑道、回収可能な箇所で使用されるが、木材に比して高価で、現場状況に合わせた加工がしにくい等の欠点がある。

コンクリートは坑口、立坑、機械座等長期間維持する箇所で使用している。コンクリートは圧縮には強いが曲げに弱く、そのような箇所を使用する場合は鉄筋で補強する必要がある。また、コンクリート支保は一旦破壊されると補修が困難となるため、動圧が少ない箇所に施工することが多い。

ルーフボルトによる支保は、欧米、豪州の炭鉱で広く普及している。安定した同一地層内の掘削では画一的に施工できるが、傾斜した地層内、地層を切ってゆく場合の支保としては、天盤の変位に注意し打設する必要がある。また十分な長さのボルトを使用し、断層、褶曲帯等天盤状況が不良な場合は剛性支保を併用することが望ましい。

坑道の形状は、四角形(方形、矩形)、多角形、アーチ型(馬蹄形)、円形、楕円形等があるが、一般的に縦軸の長さが横軸の長さの 2 倍になるような楕円または滴型になるような断面にすると支保にかかる荷重は最も少なく、四角形の断面では支保は比較的破壊されやすい。

岩盤の母体より分離した岩石の重量による静的な盤圧を静圧という。大深度地下に円形の坑道を掘削した場合、地圧が開放されるため岩盤は膨張して亀裂が入り、膨張した岩石は母体岩盤から離れ、いわゆる浮き石の状態となる。この浮き石には直接地表からの圧力はかからない。即ち膨張した岩石は免圧されたことになる。また、岩石が母体から離れることにより新しく生ずる面に対して再び地圧が働き膨張する。このような作用は時間が経過すると共にタマネギ状に岩盤の奥部に向かって進行し、岩石の膨張範囲(免圧圏)は次第に拡大する。したがって、免圧圏内の岩石の摩擦による抵抗力と枠の支持力の合計が地圧と等しくなれば、それ以上枠が変形することもなく免圧圏が拡大することもない。坑道を掘削した場合、迅速に、周辺岩盤が膨張を始める前に、確実に支保等により周辺岩盤の挙動を押さえることが重要である。

いずれにしても、掘削前の地圧状態をそのまま維持するため、掘削後、周辺岩盤に変位等影響が出る前に速やかに施枠等の支保を行うことが大切である。

4.1.2 国内炭鉱の坑道維持と支保の例

石炭は堆積岩である。我が国の炭鉱で採掘の対象となっている夾炭層は新生代古第三紀層に分布している。これは砂岩、頁岩の互層から成り立っている。

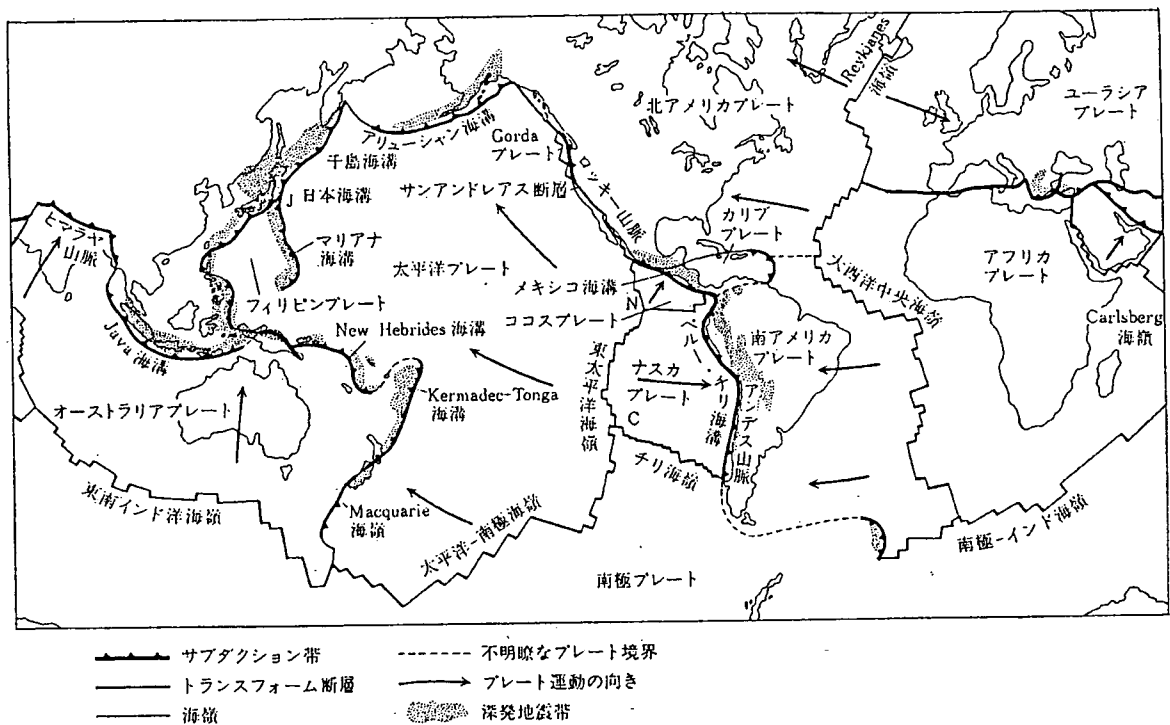
我が国の炭鉱では、長期にわたり維持することを目的として掘削された坑道の支保材料には、I型鋼を馬蹄形に曲げて作った鋼杵と荷重を鋼杵に均等に掛けさせるための木材(矢木)を使用して、さらに隣接する鋼杵を木製切張、鋼製タイロッド等で連結し一体構造として盤圧を支える構造としている。また、盤圧の増大を考慮して支保用鋼杵材を1m当たりの重量で、順次15kg、22kg、28kg、34kgと増加させ、盤圧上昇に対応していた。特に坑道の分岐部においては応力集中により変形が生じ易く、このため三池炭鉱では50kg/mの鋼杵材をダブルで施杵した例もある。

しかし、それでも採掘の影響、盤圧の増加等により、しばしば坑道断面積が縮小し、運搬作業、通気量の確保等に支障をきたし、必要断面の確保のために補修作業を余儀なくされることが度々あった。このような場合、本来の目的を満足させながら坑道断面の拡大を行う必要があり、押し出された岩盤との狭隘な合間で作業を行う必要に迫られることも度々経験している。岩盤は、一旦動き始めると連続的に挙動が継続することはしばしば経験するところである。近傍区域で採掘作業等が行われた場合は、必要最小限の坑道断面維持さえも困難となる場合があり、通行や運搬に支障をきたすとともに必要通気量の確保もできなくなることもある。このため長期間の維持が必要な坑道は、長期採掘計画に則った採掘等の影響範囲の外に設置することを基本として設計していた。

日本においては、古くから石炭層の天盤支保としてのロックボルトの研究は行われてきた。伝統的な鋼杵による剛性支保から完全にロックボルトへ移行することについて、法規制上は何ら制約はないが、理論的には問題なくとも作業員の不安を取り除くという観点から、監督官庁からは補助支保としてしか認められていない。しかしながら近年では剛性支保の消極的支保に対し、積極支保としての位置づけから研究が進んでいる。

4.1.3 海外炭鉱の坑道維持と支保の例

4.1 で述べたとおり、坑道維持は周辺岩盤の初期応力状態に適した支保を施工することによって難易性が異なる。このため、空洞を掘削する時にはその周辺の初期応力の状態を知ることが大切である。初期応力は世界的に見るとプレートテクトニクスによる影響を強く受けている場合が多く、その状況により各国ごとに独特な支保技術の発達が見られる。図4.1-1に世界のプレートの分布を示す。



世界のプレート分布。アフリカを不動としたときの各プレートの運動は矢印で示してある。

図4.1-1 世界のプレートの分布

出典：世界の地質(岩波書店1979)

石炭鉱山においては、採掘対象となる石炭層の位置、傾斜、周辺地形等の賦存条件、地質条件や応力分布によって坑道の設計が異なり、維持方法も異なっている。また国や地方によっても歴史的な技術の蓄積、法制度によって様々な坑道維持方法が取られている。

ヨーロッパ諸国、特に深部の採掘を行っているドイツやイギリスにおいては剛性枠による支保が中心であったが、近年ではアメリカ、オーストラリア等で発達してきたロックボルトによる支保の思想が浸透しつつあり、多くの研究が行われている。

主な国での坑道維持のための支保種類とその背景について、以下に述べる。

(1) アメリカ

アメリカの地質工学的な特徴は、過去の地質時代に活動的であった強い水平応力に見られる。今日、この水平応力の大きさと方向性は、各炭田で異なっており、これが大陸プレートの動きと密接に関係していることが広く受け入れられている。最も大きい応力場の地域は中央プレート(Mid-Plate)であり、アメリカとカナダの主要な東部炭田を含み、北米地域の東部 2/3の大部分を包含する。中央プレート応力場は、イリノイ炭田で東西方向にいくらか回転しているが、水平応力は北東～東北東に極めて一定であることで特徴付けられている。東北東の応力方向は、中央大西洋海嶺の拡大によって押されている北米プレートの現在の方向と一致している。中央プレートの応力は圧縮応力であるので、東北東の水平応力は最大圧縮応力であり、垂直応力は最小圧縮応力あるいは中間圧縮応力である。イリノイ炭田を含む東部地域での水平応力と深度の関係から見ると、90%以上の測定値において、水平応力は垂直応力より高いことを示している（ほぼ2:1）。水平応力は深度により増加するが、垂直応力/水平応力の比は減少する傾向にある。

米国西部においては3地域の応力場に分けられるが、いずれも垂直応力は水平応力と比較して同じか勝っている。アメリカ西部の炭鉱で測定した水平応力と深度の関係からみると、垂直応力に比較して水平応力の大きさは東部の炭鉱より低く、大部分の場合水平応力と垂直応力はほぼ同じであることを示している。このことは、アメリカ西部の応力場は引張応力の場であることの反映と思われる。図4.1-2にアメリカの最大水平応力図を示す。

大きな応力場においては、坑道維持に対し大きな影響を与える。適切な支保の選択を誤ると、坑道の変形が増大し、坑道の拡大や2次支保に要するコストも増大する。特に強い水平応力条件下で矩形坑道を掘削した場合、岩盤の圧縮強度に対し水平応力が卓越すると天盤岩石剪断破壊を生じ、応力の再分配による応力集中が著しくなり、免圧圏の拡大、坑道肩部におけるいわゆる喰い切り現象、側壁の押し出し、盤膨れ現象等が生じる。このため計測による初期応力の大きさと方向性の把握が重要である。

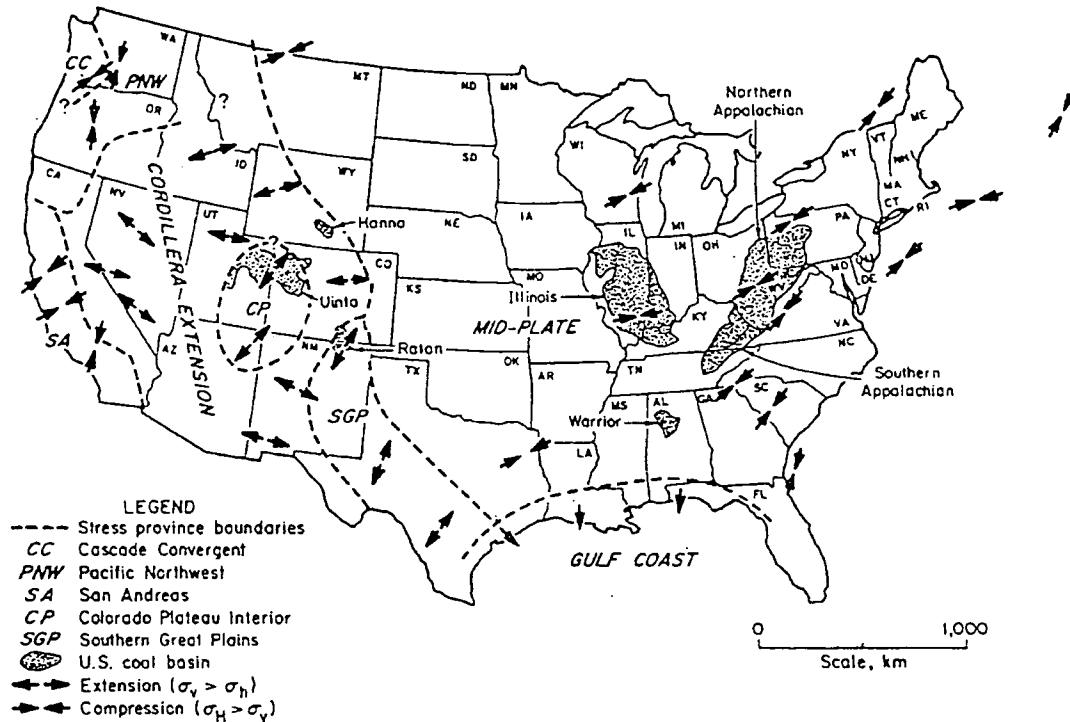


Figure 4.—Eight stress provinces of the continental United States. Arrows indicate the orientation of the maximum horizontal stress. (After Zoback and Zoback (46)).

図 4. 1 - 2 アメリカの最大水平応力図

出典：技術者交流事業(炭鉱技術分野)国際交流事業 事前調査 米国，1999，NEDO/ICOAL

(原典：Zoback and Zoback)

アメリカにおいては、先に述べた通り応力場、地質条件、地形条件等に違いがある。東部のアパラチア山地においては軟弱天盤が卓越し、山地のため山腹の石炭層露頭から沿層展開している例が多い。またイリノイ等内陸部においては平原または緩い丘陵地帯に炭層が賦存するため、立坑で着炭、沿層展開している。さらに西部ユタ州、コロラド州等のロッキー山脈における炭鉱では、深い溪谷沿いの露頭から沿層で坑道展開しており、奥部に進むに連れ急激に垂直応力が増加する。実際には偏荷重として坑道に作用する。

アメリカの炭鉱における災害のうち、天盤崩落・側壁崩壊による災害率は高い。この理由の一つは、天盤が鋼材やコンクリートのような人工物により構築されたも

のでなく、支保の概念が自然の岩盤の自立性を利用したものであることに依存しており、クラックや小断層、剥離しやすい層の存在によって大きく影響を受け、炭層が形成された堆積環境によって炭鉱ごとに天盤条件が異なるためである(C. Mark, 1998)。このため天盤の評価技術が重要となり、主として天盤岩石サンプルや試錐コアの物性ラボ試験が行われている。しかしサンプルでは天盤の特性をマスとして適正に評価することができないため、これを定量化する手法として、オーストラリアのトンネルの天盤を評価するために開発された Rock Mass Rating法(RMR法, Z. T. Bieniawski, 1988)や、これを層理の発達した夾炭層の天盤に適用できるように開発された Coal Mine Roof Rating法(CMRR法, G. M. Molinda and C. M. Mark, 1994)が用いられている。これらの手法は、掘進能率を高めるために、無支保天盤下での掘進延先を如何に長くすることができるかを評価するために開発されたものである。

アメリカの炭鉱における坑道幅は4.6~6 mであるが、このうち 26%が5.4 m幅である。支保は、矩形断面の坑道に対し殆どロックボルトを用いている。直接天盤が石炭層で良く見られる剥離しやすい葉理(lamination)の発達した頁岩等の場合、ボルトは直接天盤の上まで打設する。ボルト長は76 cmと短いものから2.4 mの長いものまで様々であるが、1.8 m長のものが最も多く使用されている。しかしコスト低減のために短く簡易なボルトを用いる傾向がある。天盤崩落感度が高い場合は、トラストボルトやケーブルボルトを用いることもある。またボルトの種類も全面接着型のレジンボルトから一部接着型のコンビネーションボルト、レジンを用いないメカニカルボルトまで天盤状況に応じて変更している。また壁面には、通常木製や鉄製のバタフライとリブボルトを打設している。打設パターンは1.2 m×1.2 mが最も多い。

採炭切羽面が移動すると、それに伴い応力が再配分され、坑道の肩部に応力が集中して坑道変形が生じる。このため様々な二次支保を打設している。最も多く使用されている二次支保は、15cm角×76cm角材による実木積みであり、全体の86%を占めている。その他簡易な木柱、ドーナツ木積み、強化コンクリートブロック積み等も用いられている。

炭鉱の採炭切羽を構成する坑道(ゲート坑道と称する)は、採炭切羽が通過するまで維持すれば良い短期維持坑道であるため、支保の目指すところは最小のコストで

効果的な支保を行うことである。このため炭鉱では古くから木材が用いられてきたが、支保材料としての木材の利点は、塑性的に変形することができ、設計した荷重で降伏し、その後の大きく変形する間においても荷重を保持し続けることができることである。しかし近年では環境問題への配慮と木材コストの上昇、より剛性の高い支保の必要性から、コンクリート、鋼材、砂、岩石等、木材以外の支保材が用いられるようになりつつある。

(2) オーストラリア

オーストラリアの主要炭田における応力は、ニューサウスウェールズ州北部(シドニー炭田、Sydney Basin)からクウィーンズランド州南部(ボーエン炭田、Bowen Basin)において特徴的である。この地域においては、古生代シルル紀・デボン紀に大陸塊西側で火成活動があり、石炭紀・二畳紀にその東側の後背地植物が繁茂し、広く発達した地向斜に堆積した。石炭紀半ばにプレートテクトニクスにより北東方向より強い応力を受け、Hunter Thrustが形成された。このため地表近くに賦存する砂岩層にこの時の強い残留応力が残っている。

オーストラリアでは、地表から-600 mまでは、垂直応力と最大水平応力の比は1 : 2とされているが、-600~-900 mまでは1 : 1.4と小さくなる。Galeら(1992)はオーストラリアの最大水平応力と深度の関係について、オーストラリアの一般的採掘深度である-200~-550 mの範囲に限っていえば、最大水平応力は12~28 MPaを示し、深度100 m当たり5 MPaで増加するが、垂直応力は100 m当たり2.5 MPa増加しており、これは最大水平応力の半分であるとしている。最大水平応力の方向性は、北東-南西である。

掘進坑道、採炭切羽の方向性設定の際には、最大水平応力の方向性を考慮することが重要である。方向性を間違えた場合、掘進や採炭能率が著しく低下したり、天盤悪化や側壁の崩壊を誘発し、坑道維持コストの増大に繋がる。一般に坑道と採炭切羽レイアウトは、最大水平応力方向と45°で交わるのが最も適切といわれている。

シドニー炭田の南部地域では、採掘深度は比較的深く、最深部は地表下500~550 mに達する。このため立坑もしくは斜坑で石炭層に達し、沿層展開している。

立坑も斜坑もコンクリートライニングが施されているが、沿層坑道においてはロックボルト支保が殆どである。オーストラリアのロックボルト支保の特徴は、アメ

リカと異なり採炭切羽を構成する坑道は2本方式が主体であり、このため掘進しながらボルトを打設する例が多い。

シドニー炭田では応力が高いために単位面積あたりに数多くのボルト打設が必要で、このためコスト高となっている。研究者の中には、積極的なボルト打設により天盤の変形を防止する考え方、天盤の応力を開放すべきだという考え方、ボルトにプレテンションをかけ天盤を強化させて変形を抑えるのが適切という考え方、と種々な思想が混在している状態で、今後フレキシボルト等新しい技術の研究開発の進展が待たれている。

(3) 中国

中国の初期応力に関しては、Li (1986)が中国各地で実測した原位置応力測定の結果から、垂直応力は岩盤の被り重量圧にほぼ等しいとしている。地表から500 m付近までの平均水平応力 σ_{hav} (MPa)は、垂直応力と同様地表からの深さH (m)に伴い増加し、垂直応力よりも大きく、一般的傾向として次式を与えている。

$$\sigma_{hav} = 0.72 + 0.041 H$$

しかし水平応力の値はかなり地域によって異なり、最大水平応力は北西部や南西部で北部や東部より大きいとしている。

中国では広範囲に石炭層が賦存する。石炭生産量、消費量共に世界第1位で、石炭採掘の歴史も古い。このような背景の下、石炭採掘技術の研究機関も多く、世界的にも独自の支保技術や坑内設計技術を有している。またロシアの石炭採掘技術の影響も強く受けているが、華東地域においてはヨーロッパの技術導入も進んでいる。

従来の坑内構造の設計では、石炭層の下方岩盤中に基幹坑道を掘削し、基幹坑道の上方、炭層の直下に下盤坑道を掘削、さらに石炭層に斜坑で着炭して沿層展開する方法が一般的である。このため長期維持坑道としての岩盤坑道(馬蹄形)の比率が大きく、支保はロックボルトと覆工のほか、石材やコンクリートブロック積みが普遍的に見られる。一般的に維持状況は良好である。一方、沿層坑道は様々な支保型式が見られる。剛性支保としてはI型鋼によるアーチ枠や三つ組枠、鋼製可縮枠、コンクリート三つ組枠、金梁と木脚三つ組枠、木製合掌枠等様々である。また採掘に伴い発生した硬片を積み上げ、金梁を渡した枠や、天井際炭壁に鋼棒を差込み、金梁を支持した特殊枠も見られる。しかし一般的に枠と枠の間の連結状態は強固に

なされておらず、杵を一体化し剛構造とする考え方は普及していない。一方国産ロードヘッダーの普及に伴い、ルーフボルトと木製バタフライまたはWストラップによる支保も徐々に普及しつつある。しかし天盤崩落による死亡災害も散見され、今後のボルト技術の発達が期待される場所である。

(4) ドイツ

ドイツには西部にルール炭田やザール炭田といった著名な炭田があるほか、東部にも褐炭炭田が広く分布している。ドイツはヨーロッパプレートにあり、中央大西洋海嶺から北ないし北北西からの応力を受けている。一方地中海を南北に分ける地中海海嶺により、ほぼ南からの応力を受けている。炭鉱の採掘深度は地表下1,000～1,500 mにあり、累層採掘による高い垂直応力が働いており、深度1,000 mでは垂直応力は25 MPa、最大水平応力も25 MPaであり、垂直応力と最大水平応力の比はほぼ1である。場合によっては累層採掘による地層の擾乱により、垂直応力は50 MPaに達することもある。したがって、ドイツではそれほど水平応力の影響は重要視していない。むしろオーストラリア等に比べて4倍近い垂直応力への対応が課題である。このためドイツでは国策により様々な試験研究が行われて来ており、現在でも模型試験による採掘空洞周辺の擾乱研究や土木技術との融合による新しい支保システムの研究が続けられている。

ドイツでは一般に炭層は薄く、ガス対策と環境維持のための通気量確保と設備稼働空間の確保のために、炭層の天盤を切り上げ、馬蹄形の掘削断面16～34 m²を確保している。

掘削方法は2ブームジャンボによる穿孔発破である。支保は切羽面でまずロックボルト(9本)を打設し、直ちに鋼製可縮アーチ杵を施杵する。次に切羽後方20 mでロックボルト4本を追加し、さらに50～60 m後方で鋼杵の内側まで20 cm程度のコンクリートを打設する。またボルトを打設した後、岩盤の亀裂にポリウレタンを充填する。一方、高い垂直応力条件下の主要岩盤坑道においては、リング杵の施杵も実施され、良好な維持状態を示している。

(5) イギリス

イギリスの応力場はドイツのそれとほぼ同等である。大西洋を東西に分ける中央大西洋海嶺がイギリスの北西では大きく東に傾き、ヨーロッパプレートは北ないし北北西からの応力を受けている。一方地中海を南北に分ける地中海海嶺により、ほぼ南からの応力を受けている。したがって、イギリスの応力場は基本的には大陸と同じ応力環境にあり、その主応力方向は北～北北西－南～南南東である。しかし、イギリスの中央には南北にペニン山脈が走り、断層の状況により主応力方向は北西－南東～北－南に変化する（図4.1-3 参照）。

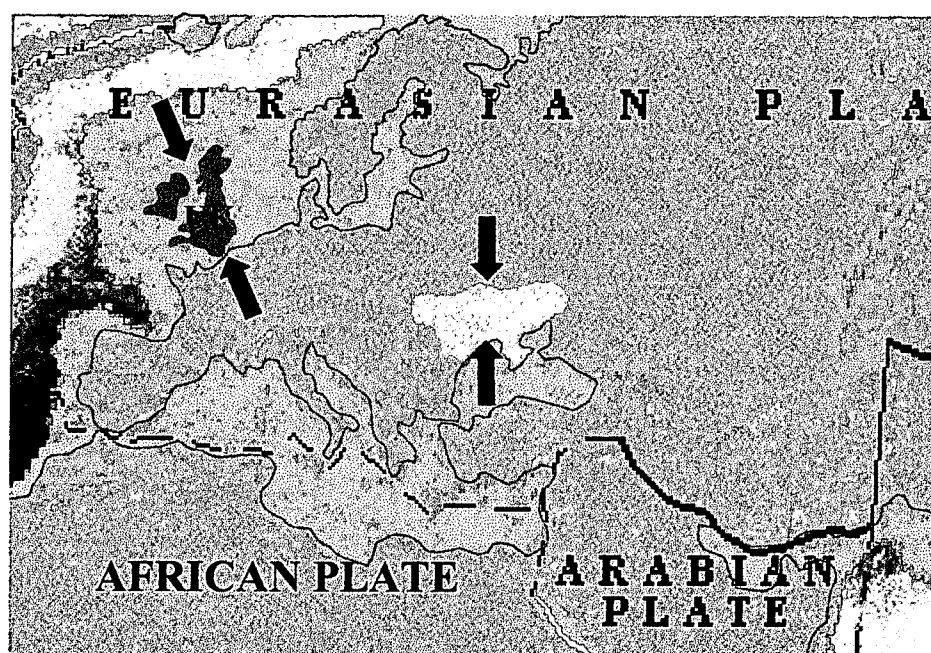


図4.1-3 ヨーロッパの最大水平応力方向

出典：Rock Mechanics Technology Plc, 2000

イギリスにおける応力の大きさをみると、最大水平応力は、深度200 m付近までは100 m当たり10 MPaで増加するが、200 m以深は100 m当たり1～1.3 MPaと急激に増加率が小さくなる。一方垂直応力は100 m当たり2.3 MPaでほぼ直線的に増加し、深度1,250 m付近で垂直応力対最大水平応力の比は1：1となり、35 MPa程度となる。また水平最小応力は100 m当たり1 MPaの増加率で、最大水平応力と大きな差があるのが特徴である。炭層は2枚で、炭層深度は640～950 m (SL -800 m)である。最大水平応力は18° NWで、上位層では垂直応力対水平応力比が2：1であるが、下位層で

は3：1と深部に移行するにつれて垂直応力が大きくなる。現在の採掘切羽は、地表下800 m以深となっている。

このような応力場においては、掘進方向を最大水平応力方向にとると比較的坑道維持が容易であるが、最小水平応力方向にとると応力集中が著しく、坑道変形が激しくなる。また最大水平応力方向と掘進方向が斜交した場合、最大水平応力軸に鋭角でぶつかる側の坑道壁面に応力集中が生じ、剪断により天盤の食い切りや盤膨れ等の坑道変形が生じやすい。

支保は、沿層坑道においては基本的にルーフ+リブボルトであるが、岩盤坑道ではこれにコンクリートを吹き付けている。

イギリスでは炭層賦存深度が深いために垂直応力が大きいこと、及び伝統的に1本坑道方式（シングルエントリー方式）が用いられてきた。このため天盤崩落等の事故が発生した時に退避路が確保できない。このため剛性支保からの脱却が遅れた経緯がある。昨今は世界の趨勢に対応してオーストラリア等からのボルト技術が導入され、鋼枠支保からボルト支保への移行が進んでいる。しかし、数多くのエクステンソメータやテルテール等による天盤変位の計測、常時監視が前提となっている。

以上の5カ国に日本を加え、世界の主な坑内掘り炭鉱における坑道維持方法の比較表を、表4.1-1に示す。

表 4.1 - 1 世界の主な炭鉱における坑道維持方法の条件比較

地域名(国名)	応力場	地形及び深度	地質条件・炭層賦存条件	支保及び坑道維持の思想
アメリカ アパラチア	プレートテクトニクスの影響で強い圧縮応力。垂直応力：最大水平応力(東北東)は1:2	アパラチア山地の丘陵地帯。深度は比較的浅い(100～300 m位)。	薄い炭層が多く、炭層数も多い。軟弱天盤が特徴	掘進能率向上(掘進作業と支保作業の分離)のための無支保天盤自立性を評価する手法(CMRR)が実用化
内陸地域 (イリノイ)	基本的にアパラチアと同じ。最大水平応力報告は若干東西に回転	内部低地の平原地帯～緩い丘陵地帯。深度は浅い。	複数の比較的薄い炭層からなる。地質条件は安定	最小限のコストで効果的な一次支保(ロックボルト)の設計が焦点 採炭切羽の進行に伴う坑道変形に対応するための剛性二次支保の研究
西部地域 (ユタ・コロラド)	局所的な応力変化。引張応力場。垂直応力は水平応力と同じか勝る。	ロッキー山脈地帯。急峻な谷筋露頭から展開。奥部で急激に被り厚さが増加する。～500 m以上	中～厚い炭層だが分裂・併合・消滅など局所的な変化が著しい。	
オーストラリア シドニー炭田	プレートテクトニクスの影響で強い圧縮応力。垂直応力：最大水平応力(北東)は1:2	丘陵地帯～山岳地帯。炭田南部ではGL -500 m以深に達し、ガスが増加する。立坑か斜坑で着炭	地質条件も炭層賦存条件も地域によって様々。炭層厚さは主として中～厚い炭層が多い。	ロックボルトを打設しながら掘進する思想が主流。このため重装備のボルト付き掘進機が普及 強い水平応力に対抗するため支保コストが高い。 二次支保はケーブルボルト等を導入
ポーエン炭田	ほぼ同上	平原から緩い丘陵地帯。深度は比較的浅く、～300 m位まで。ボックスカットか露天掘り採掘後から展開	地質条件は比較的安定している。厚い炭層が多い。	
中国	水平応力には地域差があり、北西部や南西部では北部や東部より大きい。一般に垂直応力より最大水平応力が大きい。	地域により様々。最大の石炭生産地域である山西省等では、黄土高原の平原～丘陵地帯。深度は比較的浅い。華東地域では低地で深度はGL -500～800 mに達する。	地質条件は一般に安定しているが、中・急傾斜、薄い炭層も多い。高ガス炭鉱が多い。	近代化炭鉱ではロックボルトを導入。一般には鋼柁、木柁支保が多い。歴史も長く、様々な独自支保技術が見られる。研究は多いが採炭技術に比べコスト高の間接技術に遅れ
ドイツ	プレートテクトニクスにより水平応力が北北西と南(地中海)から。深部のため垂直応力が大きく、垂直：最大水平応力はほぼ1:1	緩やかな丘陵地帯。一般に深く、世界で最も深いGL -1,500 mに達するところもある。立坑主体	地質構造は比較的安定しているが、炭層は薄く、数多くの炭層が賦存。ガスが多い。	高い垂直応力に対する剛性支保が主体。土木技術との融合が盛んでNATM工法やリング柁も見られる。近年はロックボルト技術向上。支保コストは極めて高い。
イギリス	応力場は基本的にドイツと同等。しかし垂直応力が大きく、垂直応力：最大水平応力は2～3:1	平原～緩やかな丘陵地帯。地表環境とのマッチングに主眼。立坑主体でGL -640～-950mと比較的深い。	地質条件は一般に安定。炭層厚さは中程度。炭層枚数は少ない。ガスが多い。	アメリカ等のマルチ坑道方式に対し伝統的に1本坑道方式のため、剛性支保主体。近年は豪州からロックボルト技術導入。支保コストが高く、閉山炭鉱が多い。計測主体の思想
日本	垂直応力より最大水平応力が大きい場合もあるが、バラツキが大きく、一般論では議論できない。応力開放法による計測も行われている。	主として山岳地帯の石狩炭田と海底炭田の三池、西彼杵、釧路炭田等。GL -300～-600 mで、それ以深は山はねのリスク。最深は石狩炭田でGL -1,200 m	地質条件は一般に複雑。炭層厚さは中程度で数枚の炭層が発達。若い第三紀層が主体だが火成活動が盛んで炭化が進む。	伝統的に剛性支保。一本の坑道を二度使用のための維持など、様々な技術を開発 近年ロックボルトと計測技術の導入が盛ん

出典：平成10年度技術者交流事業(探鉱技術分野 先進産炭国調査 米国調査)NEDO/JCOAL、世界の炭田概要(H11.3, JCOAL)、等から作成

4.1.4 国内金属鉱山ほかの坑道維持と支保の例

日本の応力場については、Kanagawaら(1986)が23の現場で実施した初期応力測定結果を報告している。垂直応力は岩盤の単位体積重量を25 kN/m³とした時の被り重量圧にほぼ一致するとしている。また深さ500 m付近までの水平応力は、垂直応力同様に深度に伴って増加傾向を示し、最大水平応力は一般に垂直応力より大きい。しかしその値は範囲が広く、数値を特定することができないとしている。また垂直応力に対する最大水平応力の比は、0.9から1.8の範囲の中でばらついており、深度との相関は見られない。図4.1-4に日本における深度と最大水平応力/垂直応力の関係を示す。

このため、原位置での応力測定なくしては現場の最大水平応力を知ることはできないとしている。

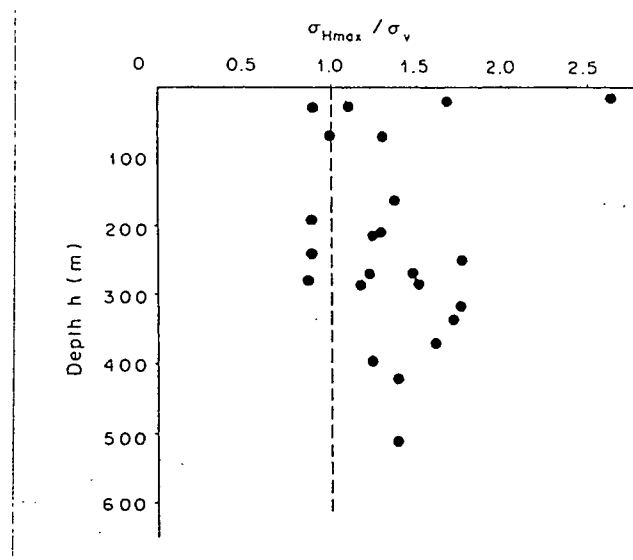


図4.1-4 日本における深度と最大水平応力/垂直応力の関係

出典：平成6年度石炭鉱業構造調整円滑化補助金事業

「国内炭鉱技術活用可能性調査事業(中国)」

石炭鉱山と異なり、国内金属鉱山の鉱床は火成岩系岩盤に胚胎する鉱脈鉱床または石灰岩に胚胎する接触性交代鉱床が多い。このため母岩の一軸圧縮強度は大きく、水平応力に対して十分な強度が有るために応力再配分による応力集中で生じる剪断破壊を起こす危険性が小さい。したがって、かつては無枠で掘削される例も見られたが、擾乱帯や軟弱岩盤箇所では鋼材によるアーチ枠や木枠等が施枠されている。近年ではルーフボルトによる支保が施される例が多い。以下に国内鉱山の坑道維持の例を示す。

(1) T 鉱山

T 鉱山は玄武岩、変質安山岩、凝灰角礫岩を母岩とする鉱脈型裂か充填鉱床で、鉛・亜鉛・銅精鉱を生産している。最深部は地表下600 mで、現稼行部内の初期岩盤温度は100℃を越え、最高温度は150℃に達している。骨格構造は鉱区中央部に3本の主要立坑を掘削し、入気、材料搬出入、人員入昇坑、鉱石の搬出の用途に供している。50 m毎に主要立坑に繋がる水平坑道を展開し、鉱脈に当てて槌押し坑道を掘進、落差25 mを単位とするサブレベルストーピング法により採掘を行っている。また各採掘部内には、レベル間を繋ぐ斜坑が掘削されている。採掘切羽及び掘進切羽の排気は直径φ0.8 mからφ1.75 m、深さ100~300 mの立坑を繋いで坑外まで排気しているが、最近では直径φ3.4 m、深さ300 m以上の大深度大口径立坑を掘削している。

主要立坑の形状は矩形及び円形で、矩形立坑は木枠及び鋼枠、円形立坑はコンクリートライニングにより支保されている。水平坑道は主としてロックボルトが打設されているが、排気立坑は無支保である。岩盤は自立性が高く、最深部においても水平坑道や斜坑の維持管理状況は良好である。排気立坑は無支保のため、古い立坑では孔壁の崩壊が生じることもある。

(2) 東濃鉱山

核燃料サイクル開発機構の保有する東濃鉱山は岐阜県土岐市に位置し、かつてはウラン資源の探鉱開発を行っていたが、現在では地層科学の研究の場として活用されている。本鉱山は地表下125~145 m、3本の立坑を含み、総延長は約1,300 mと小規模な鉱山である。

地質は中生代~古第三紀に侵入した土岐花崗岩類が広く分布し、それを新第三系中新統の主として砂岩や凝灰岩からなる堆積岩(瑞浪層群)が覆っている。立坑を含む坑道の殆どは堆積岩層の下部に構築されているが、一部は花崗岩上部に掘削されている。

東濃鉱山の坑内構造は、内径φ2.7 mの調査立坑(入気・入昇降及び資機材搬出入用)、内径φ0.9 mの通気(排気専用)立坑、内径φ6 mの第2立坑(無重量実験施設)及び本延坑道、上盤坑道、下盤坑道等の水平坑道、上盤坑道と下盤坑道を接続する連絡斜坑と通気連絡立坑から構成されている。調査立坑及び第2立坑はコンクリー

トライニングにより支保されているが、通気立坑は鋼製のパイプである。水平坑道は主として敷幅2.4 m×高さ1.9 mの二分材鋼製アチ枠で支保されている。

上述のとおり、本鉱山の坑道の天井側壁は新第三紀の堆積岩であるが、局部的な岩盤露出部を除きコンクリート矢板で覆われているため、坑道の維持・管理状況は良好である。

4.1.5 坑道維持方法

(1) 坑道変形の監視、計測

我が国の炭鉱では、従来、坑道の変形の監視はもっぱら熟練者の目視により行われていた。この目的は早期に坑道変形状況を把握し、適切な処置を行うことにより落盤等の災害を防止するためである。特に施枠の変形状況を観察することによって、岩盤の動きの特徴を把握することが重要である。変形の手が早い場合は急激な岩盤挙動が生じていることを示し、直ちに二次支保を行う必要があるが、それでも変形をくい止められない場合、退避処置をとることもあり、これにより人災とならなかった例も見られる。また、岩盤内部での破壊音（山鳴り）を聞くことで、岩盤挙動の状況を把握することもできる。

このため炭鉱では、坑内各所に地震計やAEセンサーを設置し、坑外に据えたコンピュータで震源や音の発生箇所の分布を計測し、危険箇所の予測に用いている。

また鉱山保安規則 第456条には、車両やベルトコンベア等が常時運転される運搬坑道においては、鉱車等と鋼枠との離隔が人の通行する側で最低0.75 m以上、他では0.3 m以上確保することが定められており、坑道の変形によりこれを確保できなくなることを防ぐために監視する目的もある。

一方、我が国でもロックボルトの普及を目指し、三池炭鉱、太平洋炭鉱等でロックボルトの打設試験が数多く行われてきたが、施枠免除には至っていない。しかしロックボルトの効果確認と最適なロックボルトの選定のため、天盤の変位計測が行われており、計測機器としては、天盤内に穿孔し大天盤、直天盤の2カ所のそれぞれのゆるみによる変位を計測するテルテール、天盤と下盤の距離を正確に測定しその接近量を測定する内空変位計等が用いられている。

(2) 変形後の仕繰

採掘等の影響により免圧圏が拡大して坑道が変形した場合、地山の盤圧が平衡状態に至るまで変形は続く。変形が続いているとき、鋼枠をはずし整形することは危険であり、免圧圏をさらに拡大することになる。この場合、間枠入れ、矢木巻きによる補強、最低限の盤打ち等で坑道断面を維持し、変形が収まるのを待つ。

変形が収まったら、変形の激しい箇所からではなく、その手前、入気側より口を付け、徐々に拡大量を増していく。これを仕繰り作業と称している。この場合作業時間短縮のため1箇所の両側から仕繰を行うことは大崩落を起こす危険もあり避けるべきである。

仕繰には2種類の方法がある。地山から離れた浮き石をすべて取り除き、枠を付け、地山岩盤まで木積みで当たりをつける方法と、枠の大きさに最低限の浮き石を落とし、坑木等で枠を囲む方法である。

前者の方が仕事はしやすいが、高落ちが大きい場合は当たりを確実につけることが難しく、材料も大量に必要となる。また、仕繰後その箇所にガスが溜まり易くなり、以後の巡回時にガス排除等に留意しなければならない。

後者の場合、坑木、パイプ、レール等を打ち込み必要以上に浮き石を落とさないようにするため、熟練を要する。

4.1.6 坑道維持上の課題

(1) 坑道設計

1本の坑道を掘削し、免圧圏の広がりも落ち着いた後、その坑道に隣接して坑道を掘削すると、新しい坑道の掘削による新たな免圧圏の形成時に古い坑道が盤圧を受ける。特に新旧坑道が平行している場合は、変形を起こし仕繰を行う必要も生じてくる。坑道の設計は、その都度の付け足しではなく、完成時全体を見渡した設計、作業工程が必要である。

(2) 支保の劣化防止

炭鉱では、その使用期間の長さによりいろいろな支保材料が使われてきた。一般的に使用期間の長い主要坑道では鋼枠と矢木による支保が行われてきたが、湿潤な坑道では矢木が腐食し、乾燥した坑道では矢木がぼけ、折損、脱落を起こし、補修

しないと上部岩石の間漏れを起こし、崩落にも繋がった。炭鉱では炭層の採掘に伴い、作業区域が順次深部化、奥部化してゆくが、入気、排気のための坑道は常に維持している必要があり、特に排気坑道では作業場からの帰り風は湿度が80 %以上と高く、矢木、鋼枠とも腐食が早いため、吹き付けによるコンクリートライニングを行っていた。しかし前述の通り、コンクリート坑道は、変形し仕繕を行う必要が生じた場合に作業が困難であるため、盤圧の大きい深部空間での掘削時に、同時にコンクリートライニングを行うための十分な検討が重要である。

4. 2 坑内設備維持

4. 2. 1 炭鉱における坑内設備維持の概要

炭鉱で使用されている坑内設備は、一般的に保安用設備と生産用設備とに大別される。また、これらの設備はその使用目的により通気、排水、採炭、掘進、運搬、その他設備等に分類することができる。

保安用設備とは、坑内維持に不可欠の設備に共通し、通年稼働の責務を負っているものが殆どであり電気供給設備もこれに属する。これらの設備・機器には、その機器本体の故障や不具合を検出する保護装置が備えられる他、その機器の停止や波及する事象を検知する様々なセンサーが設置され、また他の設備・機器への波及防止のためインターロック、集中監視装置による遠隔監視等の多岐にわたる保護対策が施されている。したがって坑内設備の維持管理には、稼働機器本体の日常・定期点検に加えて、これらの全ての保護装置に対しても定期点検が行われなければならない。機器故障に際しては予備機との交換による場合が多く、一刻も早い復旧が望まれる。

また生産用設備とは、操業に伴って稼働する設備・機器をいい、人為的操作・監視の下で使用されるものが多い。電気機械装置の保護装置自体は保安用機器と同様に設備される。一般的に使い方が荒く故障も多いことから、点検頻度は多く設定される。故障発生に際しては翌休日までの延命策を講じられる場合もあり、休日ごとの整備も可能である。

坑内設備の仕様は、坑内の設置環境を十分に考慮して選定されている。炭鉱では、一般とは異なる高温、高湿度、高湿潤度の環境が多く、地下水の水質も腐食性の高い場合がある。また、設置箇所における可燃性ガスの有無等にも配慮している。

水質が腐食性の高いものである場合は、耐食性の材質が選ばれている。可燃性ガスが存在する場合には、防爆機器が設置される。これらの防爆機器の設置に当たっては、機器の外部温度は安全のため低く保たれている。また、金属同士の接触等で火花が出る場合も想定されるので、火花の飛びにくい材質が選ばれている。例えば材質の軽量化のためにアルミニウムが用いられる場合があるが、鋼材との衝突により着火しやすいことが知られているため、アルミニウムにベリリウムを加え、着火性を低くした合金が用いられている。

一方、著しく乾燥した状態が想定される場合は、静電気の発生・帯電が考慮される。例えば炭鉱では、通気用の風管や圧気管等は帯電防止製品が使用されたり、アース施工が行われている。

4.2.2 通常時の坑内設備管理の方法

立坑関連では櫓、キブル巻、スカフォード巻、エレベータ巻等の設備がある。スカフォード巻は掘削時にのみ必要な設備であるが、掘削完了後は大型機器の搬入用に改造して用いることも可能である。キブル巻に関しては、立坑掘削後もずり搬出に用いることが可能である。

通常時のこれらの設備の管理は、管理責任者を置き、日常点検・定期点検等をマニュアルに従っている。ロープ等も交換基準に従って交換している。

立坑掘削後は2本の立坑を入気・排気で使い分けている。入気側を人員輸送用エレベータ、排気側をキブルや改造スカフォードで使い分ける例が多い。

坑内設備の維持管理は、鉱山保安規則第38条～46条に定められた各保安係員の遵守事項に基づき、該当責任係員が巡視・点検・検査等により行っている。また管理の基準は、個々の機械・電気設備等については、鉱山用機械・器具等に係る検定（型式、個別）に際して付された使用条件（図4.2-1及び図4.2-2を参照）に基づく他、鉱山保安法第10条第1項の規定に基づき準用する鉱山保安規則第80条第1項の規定に基づき個々の炭鉱で定め、同規則第81条第1項の規定により認可を受けた「保安規程」による。

またさらに、主要機器については特に機械器具製造メーカーの提示する取扱説明書を基に「所内点検基準」、「作業要領書」、「チェックリスト」等を作成し、点検作業の精度維持を図っている。

東 検 第 2301 号(本)

型式検定合格証

住 所

氏名または名称

1. 品 名 電気計器
2. 型 式 の 名 称

3. 構造および性能 別紙の通り
4. 定 格 電源電圧
測定範囲

5. 製造工場の名称
および所在地

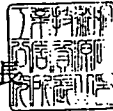
6. 製造者の氏名または
名称および住所

7. 使用条件 別紙の通り

上記について鉱山坑内用品検定規則による型式検定に合格したことを証明する。

昭和 59年 12 月 13 日

工業技術院公害資源研究所長



使用条件

1. 箱付部は常に全部確実に箱付けること。
2. 導線接続部に張力がかからないようにすること。
3. 導線引込口に適合した導線を使用すること。
4. 箱付部を開放する場合は電源をしや断して無電圧状態にすること。
5. 本質安全防爆の保持に必要な部品の取替えは同一仕様定格のものを使用すること。
6. 本質安全回路にはほかの回路より電磁的又は静電的誘導を受けるおそれのないよう配線すること。
7. 本質安全回路に接続される機器は本質安全防爆として検定に合格したものであること。
8. 本質安全機器を相互に接続して使用する場合には両者の本質安全防爆性が損われないように接続すること。



図 4.2-1

型式検定合格証 (見本)

図 4.2-2

型式検定合格証に付記される「使用条件」の例

(1) 日常点検及び定期点検による管理

(a) 日常点検

i) 始業前点検（自主点検）

掘進、採炭設備等の生産用設備は、毎作業時間の開始前に機械員による点検が行われ、これを始業前点検という。外観・打検・油量等の点検並びに試運転による目視・聴音点検を実施する。

ii) 毎作業時点検（自主点検）

掘進、採炭設備等の生産用設備は、毎作業時間に1回以上坑内保安係員が巡視点検を行い、目視、触手による点検を行う。實際上坑内保安係員は採炭現場には複数名、掘進現場は1人以上の付き添い作業となり、特に監視の強化が図られている。

iii) 毎日点検（鉱山保安規則、保安規程）

① 通気設備

通気設備には、坑道に設備される風量調整設備、ガス溜まりの処置設備、局部扇風機、主要扇風機等があり、主要扇風機は機械・電気保安係員が、それ以外の設備は坑内保安係員が通年で毎日巡視点検を行う。点検は稼働状態の目視、聴音、触手、及び主要扇風機については上記の他、運転状態の計測装置（負圧、風量、軸温度、電流他）により行われる。また各設備箇所に巡回板を設置し、稼働状況及び都度の処置内容を記載する。

② 排水設備

各種排水設備のうち主要排水ポンプについて、通年で機械・電気保安係員が毎日巡視点検を行う。点検は稼働状態の目視、聴音、触手、計器点検によるほか、停止させて給油等を行う。また各設備箇所に巡回板を設置し、稼働状況及び都度の処置内容を記載する（その他の排水設備については定期点検の項参照）。

③ 運搬設備

巻上機、ベルトコンベヤ等の運搬設備について、機械保安係員が毎日巡視点検を行う。点検は停止時の目視、打検、触手点検の他、運転時の聴音、計器点検等を行う。また各設備箇所に巡回板を設置し、稼働状況及び都度の処置内容を記載する。

④電気供給設備

主要変圧器、主要電動機、電気機関車その他保安規程により定められた特に注意を要する設備（電気機関車用充電設備及び集中監視・無線通信設備等の保安設備）について、電気保安係員が毎日巡視点検を行う。点検は運転中の設備については目視、聴音、触手点検により行い、特に蓄電池式電気機関車については駆動装置の全般を毎日目視点検する。また各設備箇所巡回板を設置し、稼働状況及び都度の処置内容を記載する。

(b) 定期点検（鉱山保安規則、保安規程）

i) 使用前点検（初回のみ）

坑内に機器を組合わせて設備を新設した場合は、試運転開始前に機械・電気保安係員による精密点検を行う。機械保安係員による点検は組立不良の発見を目的として行われる。電気保安係員による点検は結線確認、開閉器類の取付確認、保安装置の作動試験等の初回定期点検として行われる。

ii) 1週間ごと点検

機械保安係員は週1回坑内全ての機械設備（パイプ配管類を除く）について目視、触手、聴音、打検点検を実施する。

電気保安係員は週1回坑内全ての電動機械、電気供給設備（開閉器、変圧器、接地線等）、斜坑巻上機運行区間の保安設備について目視、触手、聴音点検を実施する。また、坑内変圧器座の低圧回路用接地継電器について模擬回路による作動試験を実施する。CH₄、CO等のアナログ集中監視用センサーについても検定器等による点検校正を行う。

iii) 1ヶ月ごと点検

機械保安係員は給水配管及び減圧弁、圧気配管、排水管等について敷設全線路（立坑を除く）の目視、触手点検を実施する。

電気保安係員はCH₄、CO等の集中監視用センサーについて実ガステストを行うとともに、オンオフ監視については作動試験を実施する。また立坑を除く坑内全線路のケーブルについて目視、触手点検を行う。

iv) 4ヶ月ごと点検

機械保安係員は立坑内配管、スキップ及びケージ等の立坑内運行設備、立坑口

ープ、斜坑ロープ等の精密測定及び触手、目視点検を実施する。

電気保安係員はベルトコンベアのスリップ検出継電器他保安装置、立坑内ケーブル等の目視、触手点検を実施する。

v) 1年ごと点検

全機械電気機器について、機械・電気保安係員による分解・精密点検、測定を実施する。坑内扇風機・排水ポンプ等の通年稼働機器は交換により、また主要扇風機・立坑巻上機等の大型固定設備については、公休日に部分分解による定期点検測定を行う。

(2) 坑内設備ごとの管理

(a) 立坑内の設備

通常、立坑内に設けられる配管類、ケーブル等の固定・常設設備は、一般の水平坑道に設備されるものより信頼性の高い部材が選定され、かつ長期間の使用を前提として据付工事を行う。これは、パイプ類等に不良品があった場合、その取替えには非常に苦勞する工事となるためである。

①給水、排水管設備

立坑内の配管類は、新設設備では初期故障期間経過後では3ヶ月～半年に1回程度行い、パイプ接続部、固定金具の緩み等を点検する。また年1回のペースで超音波法によるパイプの肉厚測定を実施し、特に坑口及び坑底付近の曲線部では外周、内周、側面等入念に計測し、かつ経年磨耗のデータを取り続け磨耗に伴う交換の判断基準に使用する。

②電気供給設備

立坑内では一般にケーブル類を指すが、立坑底付近に電動排水設備等を設けた場合には、その他の電源供給設備も併せて設備されることとなる。上記のケーブル関係は、給水・配水管の点検と同時に行われることが多く、点検周期も同様である。立坑ケーブルの注意箇所はケーブル表面の外装ビニール等の傷、凹み等の有無である。これは転石・落下物により損傷することが多く、時にはナイフ傷と間違えるような裂傷が出来ることもあるからである。このような場合、融着テープ等による防水処置を施す。なお、立坑底等の機械・電気設備は落下物等により不時の故障も想定されることから、機器の点検はもとより落下物等の発生状況に

についても日常的に注意する。

③その他設備

立坑内の設備には重力による静的荷重と、ケージ等の運行による風圧荷重、ガイドレールの直接震動等が掛かる。長期間の使用を経た設備ではこれらの震動がパイプ等の固定金具の緩み、ケーブル外周の防水層の摩耗等に繋がることもあり点検のポイントとなる。またウォーターリングの排水状況については、日常の運行時に目視点検により状況を見て点検周期を決めるが、異常がなければ通常はパイプ、バントン（パイプ固定レール）類の点検に併せて実施する。

(b)水平坑道の設備

①通気設備

主要通気設備については保安の要であり、鉱山保安法に従って毎日点検を行うとともに、負圧、風量、電流等の運転データを記録し、四季の運転状況を数値的に把握している。

坑内の局部通気設備については、定期的に見視、聴音点検による異常の有無、並びに触診による機体振動点検を行い、通常の状態を確認する。なお、扇風機の運転状況を集中監視装置により監視し、特に主要扇風機についてはその他必要項目も併せて遠隔常時監視・記録することが重要である。

②空調設備

冷水利用空調設備では冷水発生設備、冷水配管路、熱交換設備等が主要機器である。これらの機器はコンプレッサーユニットを伴う冷水設備の効率低下防止のため熱交換機の定期清掃・点検、冷水配管の漏水防止・断熱施工点検、熱交換設備の発錆・漏水防止及び粉塵付着による効率低下等が日常点検のポイントとなる。また冷水設備は高熱発生機器となることが想定されるため、坑外設置型とすることが望ましいが、この場合冷水配管路が高圧配管となる。

③給水設備

坑外からパイプラインを経て坑内給水を行う場合、要所々々に減圧弁を設置し必要圧力に調整する必要がある、日常の点検を要する項目となる。また配管からの漏水は坑道の湿潤化、機器の発錆に繋がり、またその後の大量漏水にも繋がることもあり早期対処を行うことが重要である。全敷設ルートの定期巡回を週1回

程度実施するとともに、減圧弁2次側の給水圧力を遠隔常時監視し減圧弁の故障を早期発見する。

④排水設備

主要排水設備の点検は毎日実施し、発熱、振動、運転データを取り設備稼働状況を把握する。給油点検も併せて実施する。その他の排水設備については、週1回以上の巡回点検により給油、発熱、電流等点検を行う。排水管については給水管と同様全敷設ルート of 巡回を週1回程度の頻度で巡回し異常の有無を確認する。なお、排水ポンプの故障、排水バックの満水等の設備状況は集中監視装置により遠隔常時監視を行う。

⑤安全設備

酸素マスク、スプリンクラー設備、火災センサー、集中監視設備等坑内の全ての安全設備は、毎月1回点検日を定めて点検を行い装置の信頼性を維持する。酸素マスクやスプリンクラー、センサーなどの保安用品にはメーカー指定の点検要領があるので、それに基づいて点検を行う。また集中監視装置については、模擬信号の入力による表示・警報機能の点検を行う。この他無線通信装置等の場合は、非常用バッテリー、予備プリント基盤等の機能チェックを実施する。

⑥電気設備

坑外から坑内末端のケーブルに至るまで全電気設備の巡回を週1回巡視し、設備の目視、外観点検を実施する。また、接地検出装置の模擬作動試験を週1回実施し、装置の信頼性維持に努める。さらに、定期点検として年1回の分解精密点検を行うとともにケーブルの絶縁測定を実施する。

また、モーター、負荷開閉器等の設備についても年1回の定期点検を同様に実施する。なお電源供給設備の変圧器、開閉器等は比較的故障頻度も少ないことから、通常は目視、外観、触手等の点検を実施し、年1回の保護装置整定・調整により機能維持を図る。

坑内電源の供給安定性確保には、供給ルート of 複数回線化と坑内配線のループ化が有効である。しかし、電源元の喪失に対してはなす術がなく、非常用発電装置に頼らざるを得ない。この場合、通気電源と排水電源の確保が対象となる。

4.2.3 異常時の坑内設備管理の方法

超深度の環境においては、通常の状態の他に、異常事態を想定する必要がある。例えば異常出水、通気環境変化、坑内火災、設備故障、停電等である。多くの機器が電気を動力源にするため、停電に対しては配慮が必要である。非常用電源の確保は不可欠である。通気・排水等の保安電力は最低限予備が必要である。

また停電時には発電機等への電源切り替えが行われるが、排水設備のサンプ等は湧水量とサンプ容量から停電許容時間を算出し、想定される停電時間を考慮して設計されなければならない。

地表の異常気象が坑内構造に大きな影響を与えることは少ない。しかし、低気圧や台風の接近により、気圧が著しく低下する場合がある。これにより、密閉箇所等では気圧変化により密閉内ガスが坑道内に出てくることがある。

地震による坑内構造の影響は少ないとされている。実際、地表で大きな被害の出た地震でも坑内の影響が出なかった例もある。しかし、坑外施設が被害を受けないように強度を持たせることが重要である。

坑内設備に異常が発生した場合、波及により到達する最悪事態は爆発・火災と坑道水没である。また往々にして人的被害に至ることもあり、初期段階における的確な処置・対応が叫ばれる所以である。地下に坑道を展開する炭鉱では、その立地条件からガスの発生と湧水は避けられず、これに対処するための設備が日夜稼働している。これらの設備・機器に異常が発生した場合、直ちに復旧処置が開始されなければならない、その手順を図4.2-3に示す。

なおこのフローには関係先への連絡等は含まず、また異常発生設備・機器の重要性により措置は追加される。

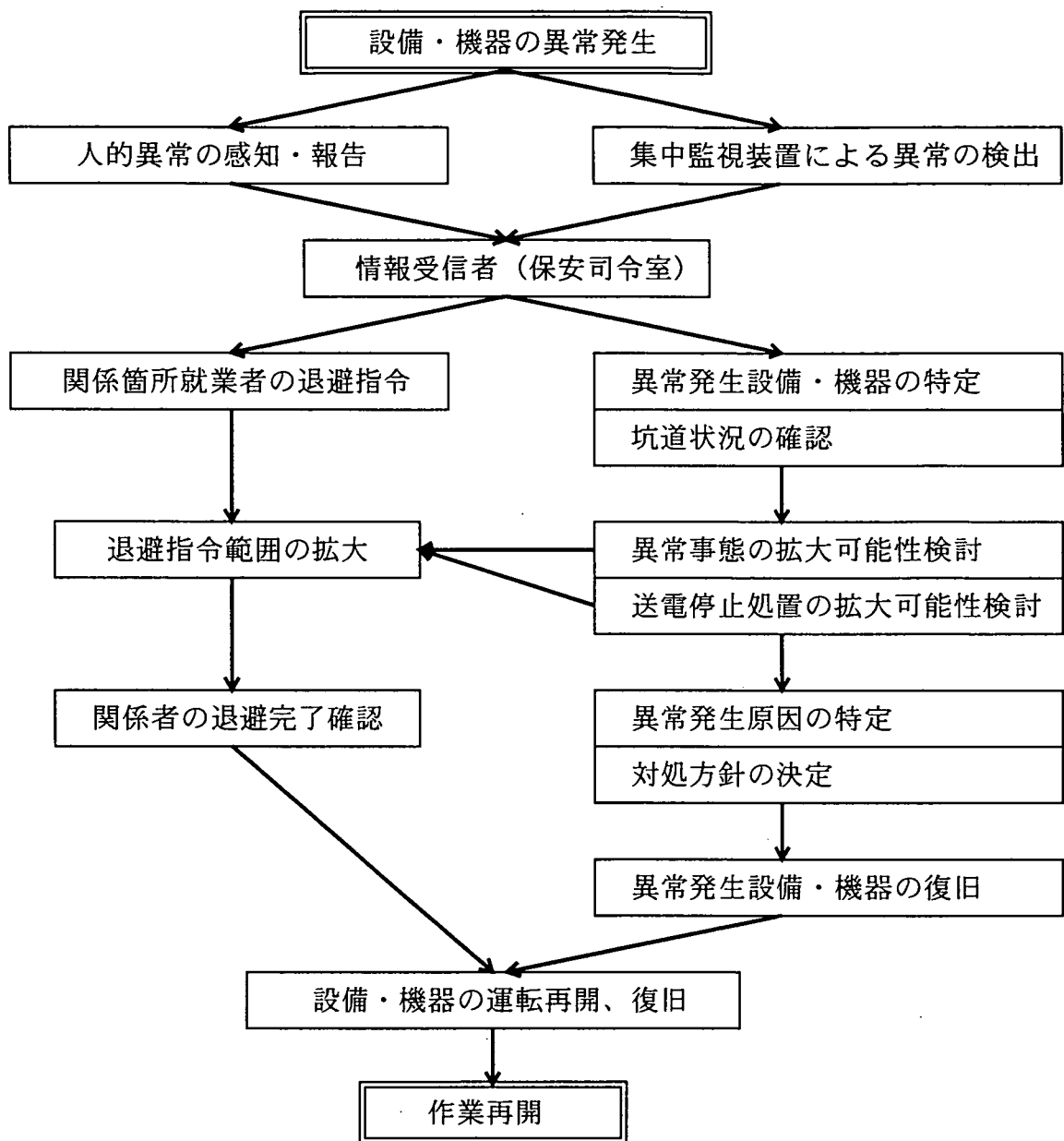


図 4.2-3 異常発生時の復旧措置フロー

坑内ではガスに対する安全確保の観点から、坑内気流方法に添って電源供給が行われるのが原則であり、樹枝状に広がる坑道では電源ケーブルも気流に連れて必要箇所まで延長される。坑道の途中に掘進坑道が展開された場合には、同所吹込みの局部扇風機以降の風下側が排気坑道と見なされ、以降に延びる電源は被インターロック電源となる。坑内設備・機器に異常発生の場合、当該設備・機器の自動停止は勿論のこと、通気設備で発生した場合には、上述の風下電源インターロックにより下流方向の電動

機器は全て停止することになる。しかし気流の流れを異にする系統では、ガスに対する安全が脅かされない限り通常どおりの運転を継続させる。特異な例としてインターロックにより排水設備が停止した場合、近傍の低位置にある気流系統及び電源系統を異にする設備・機器への送電を人為的に停止し被水防止を図ることもある。

異常発生機器の復旧が完了した場合、入気側設備から運転が再開される。扇風機設置箇所の後方では、扇風機による通風の安全を確認した後、送電操作が行われる。

電源供給設備に異常が発生した場合、原因の特定に時間を要する 경우가多く、別坑口からのループ配電による電源供給も適宜選択しなければならない。また坑外に設置した主要扇風機に異常が発生した場合、炭鉱では大型機器である 경우가多く非常事態と言わざるを得ない。したがって、主要大型排水ポンプと同様に絶対にあってはならない故障ということになり、その維持管理には特段の点検・維持管理体制が執り行われる。

4.2.4 坑内設備管理上の課題

(1) 設備上の課題

可燃性ガスの存在が想定される場合、機器は防爆構造とし、入気側に設置されるべきである。排気側に設置される場合も防爆構造とするか、液圧や空気圧動などを用いることが好ましい。

排水設備は停電時においても切羽が冠水により作業困難となることのないよう配慮するべきである。例えば立坑底の深度を深く取り、切羽からの水は自然流下させる方法もある。通常の掘進作業においても利用される方法であるが、この方法は停電許容時間設計値を超えるような状態の時、坑底で通気回路を遮断される危険性を持つ。

坑内設備は坑外から監視・制御できる様構造となっているべきである。また、排水設備等は個々の機器の故障時に支障のないよう、予備を持つことが重要である。また整備を行うか、交換してしまうかの適切な判断が必要である。

火災等の場合に備え、消火設備の設置が不可欠である。散水管、消火栓を設置する必要がある。また要所にはスプリンクラー等の自動消火設備を設置することが好ましい。停電等にも対応できるよう、十分な容量の水源を確保しておく必要がある。深度が大きい場合、下部での水圧が高くなる傾向があり、必要に応じて減圧弁を取

り付ける必要がある。その他、変電設備等、散水による消火が適切でないと判断される箇所においては、消火器の設置や、窒素ガス等を用いた消火設備の設置を行う必要がある。消火栓の間隔は通気方向やホースの長さ等を考慮して決められるべきである。

(2) 管理上の課題

既述のとおり、機器は必ずいつか故障するものであり、その時期の特定は殆ど不可能である。また設備が増えるほど、そして複雑化するほど発生頻度は上昇する。故障の形態には初期故障と経年劣化に加えて人為的故障（点検・修理ミス）があり、これらが複合的に絡まって故障に至るケースがある。したがって、ヒューマンエラーや慣れによるミスを防止し点検・補修精度の維持を図るとともに、起きた故障に対しては如何にして初期の段階で発見するかが課題となる。

また、坑内用機械・電機機器は非常に頑丈に作られてはいるものの、重量物であることから点検作業にしばしば支障をきたし、保安設備の場合では点検時間に制約が多く、設備計画の段階でこの点を詳細に詰めておくことが重要である。

4.3 鉱山における主要設備の維持管理

4.3.1 坑内設備の維持管理の考え方

鉱山における各設備は、鉱物資源の生産及び保安の確保ならびに生産性や経済性の向上を目的とし設置されている。それらの設備は、相当の期間使用され、なかには鉱山が存続する間、使用し続けるものもある。このために機械類はたえず点検、修理を行うとともに、機器によっては、一定の期間を定めて坑外に搬出して精密検査を行い部品等を完全なものと交換する必要がある。しかし、全く機器類が故障することなく運用することは、実際には容易なことではない。そのため、予備の機器を設置したり、機器の能力にある程度の余裕を持たせることによって、万一故障が発生しても直ちに鉱物資源の採掘作業に影響が及ぼすことのないよう機器管理を行っている。

4.3.2 坑内設備の維持管理の方法

鉱山での機器の維持管理は、鉱山保安法・鉱山保安規則に基づき管理されており、さらに、詳細で具体的な規定を各鉱山で「保安規程」として定めている。

これは、鉱山ごとに、採掘現場の地下深度・湧水量など多くの自然条件や、生産規模などによって使用機器も多様化し、その管理も多岐にわたることと、厳しい使用条件やときには、尊い犠牲により規則ができ鉱山独特の管理をしているものと考えられる。

今回は鉱山で最も重要な設備である「人を運搬する巻揚装置」と「排水設備」に関する鉱山保安規則と鉱山保安規程の例（A石炭鉱山及びB金属鉱山）について調査し、表4.3-1にまとめた。

表4.3-1 鉱山保安法による坑内設備の維持管理規則と保安規程の例(1/5)

NO	設備名称	鉱山保安規則(総集編)平成7年版	A石炭鉱山 保安規程	B金属鉱山 保安規程
1	巻上機関係	<p>第九章 運搬・第一節 通則 (保安規程)</p> <p>第392条 運搬に関する保安については、次の事項について、その細目を保安規程に定めなければならない。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 巻揚装置の管理に関する事。 2. 人車、ケージの運転速度に関する事。 3. 信号に関する事。 4. 乗車および降車に関する事。 <p>(検査)</p> <p>第393条 当該係員は次に掲げる施設、装置、部品等について毎作業日、異常の有無を検査し、その結果を保安日誌に記載しなければならない。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 人を運搬する巻揚装置の機械的安全装置 5. 巻揚装置のロープ 6. 巻揚装置のロープに付属するロープソケット、リンク、チェーンおよびピン 7. 巻揚装置のケージ、バケット、スキップおよび人車並びにこれらに付属するリンク、チェーン及びピン 8. 巻揚装置のブレーキ、クラッチ、及び深度指示器及び機械的安全装置(第1号に掲げるものを除く) <p>第395条 機械保安係員は、前二条に掲げる施設、装置、部品等のうち、同条第1号、第2号及び第4号の2に掲げるものについて二月に一回以上、同条第3号から第5号までに掲げるものについて四月に1回以上、同条第6号及び第7号並びに前条に掲げるものについて一年に1回以上精密検査をし、その結果を管理台帳に記載しなければならない。</p> <p>第396条 当該係員は、人を運搬する巻揚装置の電氣的信号装置及び電氣的安全装置について、異常の有無を毎日検査し、その結果を、保安日誌に記載しなければならない。</p> <p>2. 電気保安係員は、前項の装置について、二月に1回以上精密検査をしなければならない。</p> <p>第397条 当該係員は、人を運搬する巻揚装置を設けた立坑、斜坑およびその軌道並びに人を運搬する機関車を運転する坑道 およびその軌道について、異常の有無を毎日検査し、その結果を保安日誌に記載しなければならない。</p>	<p>(巻上機の管理)</p> <p>第156条 巻揚装置に関しては、人を運搬する巻揚装置、50KW以上の巻揚装置に適用する。</p> <p>(運転の際の注意事項)</p> <p>第157条 運転員及び保守員は、次の各号によらなければならない。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 巻揚装置において、ブレーキ、クラッチ、深度指示器、給油状況その他必要な箇所を毎方点検すること。 3. 確実な信号により運転を開始すること。なお応答信号装置を有する場合は、確実に応答した後でなければ運転してはならない。 4. 機械、電気各部の異常の有無、その他必要事項を確実に引き継ぐこと。 5. 機械、電気設備について常に注意し、異常を認めた場合は、応急処置をとり、当該係員に報告すること。 <p>第157条の2 運転の方法は、必要に応じて掲示すること。</p> <p>第158条 巻揚装置の毎日検査、精密検査、及び修理の方法及び時期について次の通り定める。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 毎日検査 当該係員は、異常の有無を目視又は、打診等により毎日検査すること。 2. 精密検査 機械及び電気保安係員は、規則第395条及び第396条第2項の規定によるほか、管理者の定める方法により給油状況、機能の良否等を次の定める時期に精密検査しその結果を検査簿に記録し、管理者に報告すること。 <p>(1). 人以外のものを運搬する巻揚装置の電氣的信号装置及び機械的及び電氣的安全装置は6ヶ月に1回以上</p> <p>3. 運転員又は保守員は、異常を認めた時に応急処置をとり当該係員に報告すると共に修理等の必要な指示を受けること。</p> <p>(ロープの毎日検査及び精密検査の方法、時期及びその記録)</p> <p>第158条の2 ロープの毎日検査、精密検査の方法及びその記録について次のように定める。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 毎日検査 当該係員は、異常の有無(連結金具及びロープソケットを含む)を目視又は打診等により毎日検査し、その結果を保安日誌に記載すること。 2. 精密検査 機械保安係員は規則第395条の規定によるほか、管理者の定める方法により変形、摩耗、亀裂等を次の定める時期に精密検査し、その結果を検査簿に記載し管理者に報告すること。 <p>(1). 連結金具(ロ-プソケットを含む) 1年1回以上 但し、斜坑巻上装置においては、6ヶ月1回以上</p>	<p>第12条 運搬に関する事項</p> <p>1. 巻上機の管理及び検査に関する事項</p> <p>(1). 運転の際の注意事項</p> <p>(イ). 当該係員は巡視の都度、目視点検により注油状況、外觀の異常の有無を検査しなければならない。</p> <p>(ロ). 当該鉱山労働者は、運転中はその位置を離れず、信号の確認、ロープの状態、電流等に常に注意を払わなければならない。</p> <p>(ハ). 運転中、異常を発見した時は、直ちに運転を中止し、安全を確認して、保安係員の指示を受けること。</p> <p>(ニ). 停電、その他異常があった時は、ブレーキを締め、コントローラー及びスイッチを切って保安係員の指示を受けること。</p> <p>(ホ). 運転終了後は、他の者がみだりに操作することができぬよう処置を行うこと。</p> <p>(2). 検査の時期および方法</p> <p>(イ). 人を運搬する巻揚装置の機械的安全装置、ブレーキ、クラッチ、深度指示器、ローピング、チェーン及びロープソケット等は、機械保安係員立合の上2ヶ月に1回以上精密検査し、その結果を管理台帳に記載すること。</p> <p>(ロ). 人を運搬する巻揚装置以外の機械的安全装置、ブレーキ、クラッチ、深度指示器等は機械保安係員立合の上、4ヶ月に1回以上精密検査し、その結果を管理台帳に記載すること。</p> <p>(3). ロープの更新時期およびその記録</p> <p>(イ). ロープの取替時期は、原則として人を運搬する巻揚装置に使用するワイヤーロープの更新基準(鉱業労働災害防止協会発行)を準用し、その各号に該当したときとする。</p> <p>(ロ). ロープの取替、その他切詰、振替等を実施したときはその結果を記録する他、当該現場にその日付を標示しておくこと。</p> <p>(4). 巻揚機室には関係係員および当該指定鉱山労働者及び有資格者のほか許可なく出入しないこと。 また、運転員は当該係員が指名した者とする。</p> <p>(5). 鉱山労働者は、巻揚機により運搬するときは、巻揚能力以上の荷重のもの等不適当と思われるものは積載してはならない。</p>

表 4.3-1 鉱山保安法による坑内設備の維持管理規則と保安規程の例 (2/5)

設備名称	鉱山保安規則(総集編)平成7年版	A石炭鉱山 保安規程	B金属鉱山 保安規程
	<p>第九章 運搬・第二節 一般保安装置 (ブレーキ)</p> <p>第398条 立坑巻揚機及び斜坑巻揚機のブレーキは、最大総荷重のケージ、バケット、スキップ又は列車をいかなる位置においても直ちに停止し、かつ、保持することができるものとしなければならない。</p> <p>(安全率)</p> <p>第399条 人を昇降させる立坑巻揚装置において、ケージを支持する附属金具及びロープを設けるときは、その安全率を最大静荷重に対して10以上および最大総荷重に対して5以上としなければならない。</p> <p>ただし、ロープ切断による危険を防止する設備をしたとき、衝撃緩衝装置を設けたとき又は深さが500mを超えたときは、この限りでない。</p> <p>※鉱山施設必携(通産省資料調査会)1988-11-10 ロープの安全率の低減について(立坑) 次に該当する場合に限り許可する。</p> <p>第399条 (炭則第245条、金則第186条) 深さ500mを超え1,000m以下の立坑においてケージを支持するロープの安全率を次の算式により算定した数値まで減少させることができる。ここで深さとは、ヘッドシープの中心と坑底の乗降場におけるケージのロープ取付点との距離をいう(算式) $F_1 = 10 - T/1000$ $F_2 = 5 - T/2000$ ただし、T:深さ(メートル) F_1; 最大静荷重にたいする安全率 F_2; 最大総荷重にたいする安全率</p> <p>3. 立坑におけるスカフォードを支持する附属金物およびロープを設けるときは、その安全率を最大静荷重に対して6以上および最大総荷重に対して3以上としなければならない</p> <p>(信号装置)</p> <p>第403条 2. 人を運搬する巻揚装置を設けた立坑、斜坑および斜道と巻揚機との間には、聴音式を含む2以上の信号装置を設けなければならない。この場合において、電話は聴音式信号装置とみなす。</p> <p>第九章 運搬・第三節 人の運搬 (人を昇降させる立坑巻揚装置)</p> <p>第409条 人を昇降させる立坑巻揚装置を設けるときは、次の各号の規定によらなければならない。ただし、特別の理由があつて、鉱山保安監督部長の許可を受けたときは、その一部によらないことができる。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 深度指示器を備えること。 2. 巻揚超過および速度超過による危険を防止する設備を設けること。 3. 停電その他動力に異常があつたときにおける危険を防止する設備を設けること。 4. 坑口、中段乗降場等には、自動または手動による安全戸その他の墜落を防止する設備を設けること。 	<p>第二節 人車および人を昇降させるケージの運転速度 (最大運転速度および速度の制限)</p> <p>第161条 人車および人を昇降させるケージの運転速度に関しては、規則第413条によるほか、次の通りに定める。</p> <ol style="list-style-type: none"> (1). 所轄官庁の認可速度を限度とする。 (2). 認可速度は掲示その他により、運転関係者に周知させること。 <p>2. 人車および人を昇降させるケージの限速開閉器は、その巻揚機規定速度の超過率30%以内にて自動的に作動するように調整しなければならない。</p> <p>第三節 人車および人を昇降させるケージの信号 (管理)</p> <p>第162条 信号装置は当該電気保安係員が管理しなければならない。</p> <p>(信号法)</p> <p>第163条 人車及び人を昇降させるケージの運転に関する信号は管理者の指示する方法によりこれを行い、かつ見易い箇所に掲示しておくなければならない。</p> <p>(信号の実施方法)</p> <p>第164条 人車及び人を昇降させるケージの信号は、車掌および信号員以外取り扱ってはならない。ただし人車について重大な危険が発生し、または発生のおそれがあるとき、車掌に連絡の暇がないときはこの限りでない。</p> <p>(信号装置の設置箇所および設備の種類)</p> <p>第165条 信号の設置箇所は、規則第403条によるほか、次の通りに定める。</p> <ol style="list-style-type: none"> (1). 信号装置は、各乗降場に設けること。 (2). 信号装置の種類は、聴音式または視聴併用方式等とする。 <p>(信号装置故障の際の処置)</p> <p>第166条 信号装置の故障の際は、速やかに当該係員ならび関係者に連絡し、修理しなければならない。</p> <p>第五節 乗車および降車 (乗車場および待合所の管理)</p> <p>第171条 乗降場および待合所は副保安技術管理者の指定する坑内保安係員が管理しなければならない。</p> <p>(とう乗定員)</p> <p>第172条 所轄官庁の認可定員を限度とする。なお、とう乗員数は掲示その他により周知せしめねばならない。</p> <p>(携帯品の制限)</p> <p>第173条 とう乗員は作業に必要な小道具類の外携帯してはならない。</p>	<p>2. ケージ及び人車の運転速度に関する事項</p> <ol style="list-style-type: none"> (1). 巻揚機および機関車の運転員はその運転速度について次の事項を守らなければならない。 (イ). ケージ及び人車で人を運搬するときは、許可を受けた速度以内で、管理者が定めた速度で行うこと。 (ロ). ケージ及び人車で人以外のものを運搬するときは、適応した速度で行うこと。 <p>3. 信号に関する事項</p> <ol style="list-style-type: none"> (1). 巻揚機の信号は、ベル又は電話(以下信号装置と言う)により行うものとする。 (2). 機関車及び機関車で人車を運転する時の信号は、機関車の誘導者または運転員が警笛により行うものとする。 (3). 巻揚装置の信号の実施方法は、ベル等により次の各符号を原則とし、坑道替え等の時は、これを組合せたものを定め、巻揚装置の信号員が確実に実施し、また巻揚機運転員は確実に応答信号を行うこと。 揚げ・・・下げ・・・止め 非常時の場合・・・(連続) 坑道切替え----- (組合せ) (4). 信号装置は、巻揚機室、各プラント、その他必要な箇所で見易い箇所に設置すること。 (5). 信号装置に異常を認めるときは、直ちに運転を中止し、運転員又は信号員は、速やかに担当保安係員に連絡し、保安係員は復旧の処置を行うこと。 <p>5. ケージ及び人車への乗降に関する事項</p> <ol style="list-style-type: none"> (1). ケージ及び人車のとう乗定員を守ること。 (2). 鉱山労働者は、ケージの乗降にはケージ信号員及び人車の乗降には、機関車運転員の指示に従い順序よく行き、身体の一部又は、所持する工具、作業用品等がケージまたは人車の外にはみ出ないように注意すること。 (3). 人車への乗車が終わったら、乗降口のバーを必ずかけ、所定の位置に座り静粛にすること。 (4). 人車運行中の飛び乗りは絶対しないこと。 (5). 火薬類を携帯した者は、火薬類を携帯しない者と同車両に乗車しないこと。 (6). ケージ及び人車の乗降場付近の足場は常に整理整頓し、滴水、流水による滑りを防止すること。 (7). 乗降場又は待合所には乗車に必要な注意事項、乗車定員数、運行表などを掲示し、とう乗者に徹底を図ること。

表 4.3-1 鉱山保安法による坑内設備の維持管理規則と保安規程の例 (3/5)

設備名称	鉱山保安規則(総集編)平成7年版	A石炭鉱山 保安規程	B金属鉱山 保安規程
	<p>5. 坑底および中段乗降場には、両側に坑道があるときは、一方の側から他の側に通ずる回り通路を設けること。</p> <p>6. ケージには、金属製の上ふたを備え、かつ、墜落を防止するため側囲を備え、前後には、戸、安全鎖または横木を備えること。</p> <p>7. ケージには、人が安全を保つための握りまたは鎖を備えること。</p> <p>8. ケージには予備のつり鎖を備えること。</p> <p>9. 繋ぎ合わせたロープを使用しないこと。</p> <p>10. ロープは、腐食、ひずみ、摩耗、断線等により、第399条1項に規定する安全率がその80%以下に減少したときは、使用しないこと。</p> <p>11. 巻揚信号法は、巻揚機場の運転者が見易い箇所および各乗降場の信号器が備えてある箇所に掲示すること。</p> <p>12. とう乗定員数は、乗降場に掲示すること。</p> <p>(人を運搬する巻揚機の運転者等)</p> <p>第412条 第56条第1項第5号の作業に従事する立坑または斜坑において人を運搬する巻揚機運転者は、ケージまたは人車により昇降する鉱山労働者が坑内にいるときは、その職務を離れてはならない。</p> <p>(人車等の運転速度)</p> <p>第413条 人車およびケージは、軌道その他の施設に適應する速度で運転しなければならない。</p> <p>(人車等の試運転)</p> <p>第414条 人を運搬する巻揚装置は、一作業時間以上巻揚機を使用しなかったのちまたはロープを車両もしくはケージに連結し替えたのち、鉱山労働者を運搬するときは、1回以上試運転しなければならない。</p> <p>(人と材料等の同時運転禁止)</p> <p>第415条 立坑、斜坑、斜道、または、水平坑道において、人を運搬するときは、機械、器具、材料、車両等を人と同一のデッキまたは車両で運搬してはならない。ただし、当該係鉱山労働者がその運搬に付き添う必要があるときは、この限りでない。</p> <p>(人車及びケージへの乗降)</p> <p>第416条 鉱山路労働者は、人車およびケージが完全に止まるまでこれに乗降してはならない。車掌が人車操作のため乗降するときは、この限りでない。</p>		<p>(8). ケージ巻の際、無用のものは立坑プラントの所定の標示以内に立ち入らぬこと。</p> <p>(9). 作業用品以外のもの、或いはケージ又は人車の運行に支障を来たすようなものをもって乗降してはならない</p> <p>(10). 特殊な携行品については、保安係員の指示を受けること。</p> <p>(11). ケージ信号員又は機関車運転員は、上記事項を確実に遵守させること。</p>

表4.3-1 鉱山保安法による坑内設備の維持管理規則と保安規程の例(4/5)

設備名称	鉱山保安規則(総集編)平成7年版	A石炭鉱山 保安規程	B金属鉱山 保安規程
2 排水設備	<p>第十五章 坑外施設、排水施設等・第十五節 排水施設 (保安規程)</p> <p>第700条 排水施設に関する保安については、次の事項について、その細目を保安規程に定めなければならない。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 坑内排水用ポンプの定期検査に関する事。 2. 坑内排水ポンプの管理に関する事。 3. 排水管及び排水路の管理に関する事。 4. 坑内水だめの管理に関する事。 5. 排水量の測定に関する事。 <p>(具備事項)</p> <p>第701条 排水施設を設けるときは、次の各号の規定によらなければならない。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 排水能力は、水量に対して適当な余裕を持たせること。 2. 坑内主要排水ポンプには、予備の排水用ポンプを備えること。 3. 主要排水用ポンプの吐出側の適当な箇所に圧力計を備えること。 4. 保安のため必要があるときは、坑内排水用タービンポンプの吐出側の適当な箇所に逆止弁を設けること。 5. 坑内水だめの容量は、停電、施設の故障に対して、適当な余裕を保つこと。 <p>2項 前項第5号の規定は、開削中の立坑又は斜坑の掘進作業場における排水については、適用しない。</p>	<p>第4節 排水施設 (管理責任者の指定)</p> <p>第261条 ポンプならびに附属設備の管理は当該副保安技術管理者の指定する保安係員が行わなければならない。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 機械および電気保安係員は、各々ポンプ設備を管理すること。 2. ポンプ室(座)の前号以外の保安に関しては、当該坑内保安係員が管理すること。 <p>(普通検査および整備)</p> <p>第262条 機械保安係員は、次の各号につき30KW以上の排水ポンプについては毎日1回以上、その他のポンプについては、定期的に検査をしなければならない。</p> <ol style="list-style-type: none"> (1). 注油、給油および油層の状態 (2). パッキングランドの調整状態 (3). 各ボルトナット類の締付の良否 (4). 運転状態 (5). 揚水状態 <p>2. 30KW以下の排水ポンプについては、当該保安係員が毎方1回以上、排水および運転状態を検査しなければならない。</p> <p>(定期検査の時期、箇所および方法)</p> <p>第263条 機械保安係員は、30kw以上の排水ポンプの次の事項について、精密検査を行わなければならない。</p> <ol style="list-style-type: none"> (1). 平衡盤、羽根車、案内羽根、スリブグッツ等のポンプ内部は2年に1回以上分解し、その摩滅状態等を点検調査し、調整修理を行うこと。ただし、使用状況等により副保安管理者の許可を得て、これを変更することができる。 <p>(作業日誌)</p> <p>第264条 削除 (運転日誌)</p> <p>第265条 運転員は、毎方次の各号につき運転日誌に記載しなければならない。</p> <ol style="list-style-type: none"> (1). 運転中の圧力計、電流計、電圧計 (2). 運転時刻 (3). 点検になした処置。異常の有無その他必要事項 <p>(排水管および排水路の管理)</p> <p>第266条 排水管に関しては機械保安係員、排水路に関しては坑内保安係員が管理しなければならない。</p> <p>(排水管および排水路の検査の時期、方法)</p> <p>第267条 機械保安係員は、毎月1回以上全配管系統を巡回し漏水の有無、継手類の破損等を調査し、適当な処置をとらなければならない。</p> <p>第268条 坑内保安係員は、毎月1回以上排水路および配管坑道を巡回し、水路および坑道の状況を調査し、常に整備しておかねばならない。</p> <p>(定期検査)</p> <p>第269条 削除</p>	<p>第18条 排水施設に関する事項</p> <p>1. 坑内排水用ポンプの定期検査に関する事項</p> <ol style="list-style-type: none"> (1). 当該係員は巡回の都度、ポンプ及び電動機軸受温度、圧力計、電流計、取付ボルト、潤滑油の量、パッキング等を点検、異常を認め時は速やかに修理すること。 (2). フートバルブ、ストレーナーは原則として2ヶ月に1回分解点検を行い、異常の有無を点検すること。 (3). その他の箇所については、(1)の点検結果又は、当該係員の指示によって分解点検を行うこと。 <p>2. 坑内排水用ポンプの管理に関する事項</p> <ol style="list-style-type: none"> (1). 坑内排水用ポンプの管理責任者は、管理者が指名した機械保安係員とする。 (2). 自動運転のポンプの注油点検及び整備は、手元開閉器を切った後実施すること。 (3). 機械に異常を生じたときは、直ちに当該係員に報告し、その指示を受ける。 (4). 報告を受けた機械保安係員は、速やかに修理し、かつ、異常の状態、処置状況等を保安日誌に記載すること。 <p>3. 排水管及び排水路の管理に関する事項</p> <ol style="list-style-type: none"> (1). 排水管及び排水路の管理責任者は、当該区域を担当する坑内保安係員とする。 (2). 坑内保安係員は、排水管及び排水路を巡回の都度点検し異常を認め場合は直ちに修理しなければならない。 (3). 排水路は溢流することのないように常に整備しておくこと。

表4.3-1 鉱山保安法による坑内設備の維持管理規則と保安規程の例(5/5)

設備名称	鉱山保安規則(総集編)平成7年版	A石炭鉱山 保安規程	B金属鉱山 保安規程
		<p>(水溜の管理)</p> <p>第270条 水溜の管理は、次の各号によらなければならない。 (1). 水溜の設定は副保安技術管理者の許可を受けること。 (2). 水溜は機械保安係員が管理し、崩壊、落石、ガス、埋没等のおそれのあるときは、坑内保安係員に連絡し処置を依頼すること。 (3). 主要ポンプの水溜には沈殿池を設け、前号同様に管理すること。</p> <p>第271条 水溜は、サンドポンプあるいはその他の適当な方法により、沈殿物を除去しなければならない。</p> <p>第272条 掃除は、ポンプ揚水に支障をおよぼさないよう適当な時期に行わなければならない。</p> <p>第273条 水溜は当該坑内保安係員または機械保安係員が毎月1回以上崩壊、破損の程度、沈殿物の量有効容量等にき検査しなければならない。</p> <p>第274条 主要な水溜には、さく囲等の保安施設を施さねばならない。</p> <p>第275条 主要な水溜には、必要に応じて水位を標示する装置を設けなければならない。</p> <p>(排水量の測定ならびに方法)</p> <p>第276条 排水量は、機械保安係員がウエヤーあるいは、その他の計器により定期的に測定し、その結果を記録しなければならない。</p> <p>(運転)</p> <p>第277条 運転員は、保安上必要な教育事項を守らなければならない。</p>	<p>4. 坑内水だめの管理に関する事項</p> <p>(1). 当該坑内保安係員は、坑内水だめを管理し、異常の有無を点検し、異常があるときは速やかに補修しなければならない。</p> <p>(2). 坑内水だめの内の沈殿物の堆積状況を適宜検査し、有効高さの2分の1堆積した場合は、所定の方法によりこれを除去すること。</p> <p>5. 排水量の測定に関する事項</p> <p>(1). 当該係員は、鉱廃水処理場において排水量を水量計により、毎月1回以上測定し、保安日誌に記録すること。</p>

4. 4 坑内物流

4. 4. 1 地下構築物における物流の特徴

地下における物流は、地下の構造やその利用目的、物流の目的とその内容（運搬物の質・量・寸法等）により異なってくる。これらの要因から、運搬速度が決められ、それに応じた輸送設備が決定されることとなる。輸送速度は運搬機器の出力に大きく影響するものである。一般論で言うと、鉱山等のように生産活動が主体である場合、大量・高速輸送が必要となり、運搬のシステム化が生産性向上に大きく影響する。一方、地下構築物の維持・生活・研究活動が主体である場合、機能性や環境を考慮したフレキシビリティが要求される。

4. 4. 2 坑内物流（輸送）の方法

鉱山での物流の方法は、開削（アクセス）の方法によっても大きく異なる。立坑・水平坑道・斜坑などの方法により、おのずと物流方法は変化する。これは地上の地形や坑口位置に影響される場合もある。逆に最終的に到達すべき深度や搬入すべき機器によって開削方式を変える必要がある。

(1) 立坑方式

短距離で予定の深度に到達できる方法である。日本の炭鉱では炭層賦存深度が大きいため、一般的に用いられている。また中国やオーストラリア・シドニー炭田南部でも普遍的に用いられている。

立坑は機械あるいは発破で掘削されるが、ともに掘削ばたを排出するためのキブル巻き等が必要となる。キブル巻きは人員の移動・資材の搬入・ボタの排出等、比較的高速での運行を行うためのものである。また作業台等の移動には低速のスcaffold巻きが用いられる。これらの巻きは工事段階での一時的なものであるが、工事完了後も補助的資材運搬や立坑整備工事等に用いている。立坑は将来的には高速エレベーター等の設置が可能であり、人員輸送や軽量物の輸送には有効な方法である。

炭鉱の立坑巻揚げ設備は鉱山保安法により規制を受けている。一般の建設工事等での使用の場合は労働安全衛生法（労安法）が適用されるが、両者には相違点も多い。例えば、炭鉱の人員輸送立坑では1本のワイヤーロープで十分であり、複数の

デッキがあっても認可される。一方、労安法ではエレベーター構造規格に準拠することが求められる。この場合、複数のワイヤーロープが必要で、複数の搭乗デッキは許可されない。また立坑内に運行に必要としない配管や配線を行うことが認められていない。さらにケージ内に通信設備を設置したり、ケージ扉の閉鎖確認信号等を検出・送信する必要がある。したがって、立坑を人員輸送用として使用する場合、立坑内をエレベータ用に仕切るとか配管・配線に専用立坑を設けるなどの必要があるということである。これらの規格は適用外申請が可能なものか、十分に検討されるべきである。

(2) 斜坑方式

斜坑方式での開削も一般的な方法である。日本では採掘した石炭の坑外までの連続輸送のため、立坑方式と併用して揚炭斜坑が掘削される例がある。また資機材の大量搬出入のために斜坑方式を用いている例もある。斜坑方式では傾斜がきつければ所用到達深度までの掘削距離は短くなる。しかし、輸送方法や重量等により制約を受ける。たとえば一般のベルトコンベヤーを用いる場合は傾斜を緩くするのが一般的である。三池炭鉱の場合、長さ2,000 mの揚炭斜坑と運搬斜坑があり、傾斜は約10°であった。また芦別炭鉱の場合は14°の材料斜坑を有しており、充填ズリの搬入にも用いられていた。オーストラリアでは揚炭斜坑方式を用いる場合、一般に14°(1/4)の傾斜とすることが多い。

近年傾斜コンベヤーの技術も進歩しており、ベルトによる傾斜は制約が少なくなったものの、傾斜コンベヤーは粒度のそろった物に有効なコンベヤーであり、掘削ばた等においては、積載する前に破碎等の前処理が行われている。チェーンコンベヤーによるばた等の運搬は短距離の運搬に限定される。出力は比較的大きく、整備費用もかさむ傾向がある。

トラックレス方式を用いる場合は、車両の走行可能傾斜を考慮して設計されている。また重量物運搬等が行われる場合、クローラー運搬車も使用可能であるが、斜坑の断面は通気や運搬物から決定されている。車道方式ではアプト式等の機関車を用いる場合と、巻揚機を用いる場合がある。軌道の整備状況等にもよるが、巻揚機方式の場合比較的高速運行が可能である。なお、炭鉱では一般に巻き上げ機方式が用いられている。トラックレスの場合、断面にもよるが高速運行は難しく、離合箇

所や待避箇所も必要である。またばた搬出等に限定する場合はスキップ巻きも対象となる。一般にスキップ巻は立坑方式で用いられ、石狩炭田の炭鉱では主として立坑スキップ方式であったが、中国の炭鉱では斜坑スキップ方式も普遍的に見られる。設置される巻揚機の必要な牽引力・速度等は出力と大きな関係を持つので、運搬物の量・寸法・重量・搬入頻度等から検討し、決定されている。

(3) 水平坑道方式

開削に関しては山岳部等で用いられる方法である。アメリカやオーストラリアの谷筋や山腹の露頭から直接炭層内に開削する場合に水平坑道方式が用いられている。また近年では露天掘り採掘跡の残壁(ハイウォール)から直接水平坑道で坑道展開する例も増えている。しかし鉱床が深部にある場合はこの方式は用いることができない。

一方、立坑・斜坑等で一定レベルまで到達した以降の運搬方法としては重要であり、殆どの炭鉱や鉱山で用いられている。水平坑道での運搬にはトラックレス、軌道方式等がある。

軌道方式では、坑外からの一貫軌道輸送、坑内のみ軌道方式と言った様々な選択が可能である。大型の機関車を用いれば大量・高速輸送が可能である。三池炭鉱では坑内の長距離石炭輸送のために、岩盤の基幹水平坑道(特免坑道)にトロリー機関車式高速石炭専用列車を走行させ、石炭運搬を合理化していた。またアメリカのアパラチア地方でもトロリー機関車式の人員・資機材輸送が普遍的に用いられている。また中国では伝統的に軌道方式が広く用いられている。

トラックレス方式は少量輸送に適しており、軌道敷設コストやメンテナンスコストがかからないメリットがある。トラックレス輸送の場合、ディーゼル機関やバッテリー方式が一般的であるが、ディーゼル機関の場合は排気ガス・温度上昇に対する配慮が必要である。車両系鉱山機械では、異常時に非常制動がかかる方式を用いるのが一般的である。また軌道方式と異なり起伏がある場合にも対応でき、フレキシビリティに富む特徴がある。アメリカの内陸地域や西部地域、オーストラリア等ではトラックレス輸送方式が主流となっている。

4.4.3 坑内物流設備

設備から見ると、坑内物流の方法は巻揚機／スキップ、トラックレス（ディーゼル、バッテリー）／モノレール、軌道トロリー機関車・バッテリー機関車運搬／チェーンコンベヤ／ベルトコンベヤ等に分けられる。

巻揚機は立坑・斜坑あるいは水平坑道のエンドレスなどで広く用いられている。立坑においてはケージ方式やスキップ方式が用いられる。ケージ方式は人員の入昇坑、及び鉱車に積載された資機材の搬出入や鉱石・ズリの坑外揚げのために用いられている。ケージは輸送能力増強のため、2段ないしは3段デッキのものが普通である。またスキップ方式は鉱石等の運搬に用いられるもので、坑底でシュートから自動的に積み込まれ、坑口ではスキップ下部の排出口が開き、自動的に排出される。人員輸送等には不適である。坑内の水平坑道等で起伏がある場合、エンドレスロープを用いた鉱車運搬も一般的な方法である。エンドレス方式では、無線による巻上機の自動運転が一般的に用いられている。

トラックレス方式は軌道（レール）を用いず、車両系鉱山機械を用いる方法である。ディーゼル機関を用いる方法と、バッテリーを用いる方法がある。ディーゼル機関を用いる場合、比較的稼働率を高く取れ柔軟性が高いが、機関の表面温度・排気ガス・給油の問題を考慮しなければならない。バッテリーの場合、排気ガスや機関表面温度等の問題はないが、充電や電池の交換を必要とする。高速運転を行うためには路盤の整備が不可欠である。

モノレール方式は軌条を天盤から吊り下げるのが一般的であり、運搬物の重量を考慮しなければならない。傾斜坑道等でも使用可能ではある。比較的小規模な輸送の時は、チェーンブロックと併用してリモートコントロールにより資機材の吊り上げ、輸送、荷卸しを行う。三池炭鉱においてはこの方法により鉱車により輸送された資機材の積み卸し、切羽までの輸送が行われていた。一方、近年では資機材のパッケージ化（カートリッジ方式）が進んでおり、ドイツでは立坑ケージで荷卸したカートリッジを坑底で行き先別にモノレールに積み替え、切羽まで一貫輸送する方式が採られている。なお、ドイツのモノレールは前後に運転席が設けられ、オペレーターが搭乗して運転を行う方式である。

軌道方式は地表でも同じであるが、大型モーターの使用が可能なことから大量・高速輸送に適した方法であるが、保線作業に手間がかかることは否めない。可燃性ガス

がない場合はトロリー方式の使用も可能である。一般的に坑内構造は高さが低いため、トロリーによる感電事故には注意が必要である。アメリカのアパラチア地方では側壁下方にトロリーが設置されており、周囲をカバーで覆って感電を防止している例もある。トロリー機関車方式は充電等の必要がないので、機関車の稼働率は高くすることができる。またバッテリー機関車の使用も一般的であるが、電池の充電や交換のための時間が必要で、機関車の稼働率は高く取れない。また特免区域でなくても運転が可能のため、走行区間が制限されない特徴を持つ。柔軟性は高く、車道延長等にも簡単に追従することができる。また感電の危険性も少ない。

チェーンコンベヤ、ベルトコンベヤ等は主として採掘した石炭や鉱石の搬出に用いられる。10°以上の傾斜でも使用することが可能であり、短距離の連続輸送には適しているが、輸送物質の水分が多い場合は輸送量や傾斜に限界が生じる。またベルトコンベヤの場合、人員輸送に用いることも可能であり、ドイツやイギリスでは石炭輸送の返りベルトを人員輸送に供している。また三池炭鉱ではマンベルトが人員専用に用いられていた。一般的には鉱石等の輸送に適しているものの、材料輸送には不向きなため、ベルトコンベヤを用いる場合でも、資材輸送用の設備を合わせて保有することが必要となる。

その他、簡易的な輸送手段としては、軌道を敷設せずにエンドレスロープを用いたスキッドでの輸送も行われる。

4.4.4 坑内物流に関する技術開発

物流の効率化を図る手法として、高速化・無人化・自動化などが挙げられる。高速化に関しては所要動力や投資額が高くなる傾向があるので、必要な運搬量等を検討して最適値が決められるべきである。日本の炭鉱では深部化奥部化が進み、切羽での作業時間が短くなる傾向があるため、道中時間の短縮を目的として高速人車の開発が進められてきた。現在では時速50 kmを越える人車も開発されている。採掘した石炭や鉱石のコンベヤによる輸送量増大のためには、コンベヤ幅の拡大とともに、高速化による輸送量増大措置も執られている。この時、高速化により張力が増すためベルトやチェーンの強度増強とともに、原動機出力増大が必要となる。特に起動時のトルクは極めて大きくなるため、原動機設置箇所のヘッドとエンドへの分散、起動負荷電流検知による張力の自動調整、インバーター可変速駆動部の開発による最適速度制御、

等の技術が開発されている。

無人化・自動化は労働者が働けない環境下での運行や労務費削減の手段として用いられる。相手が自然であるために炭層の賦存条件や地質条件が常に変化する坑内の現場において、無人化・自動化技術の確立は容易なものではない。しかし人件費が高い日本を始めとした産炭先進国においては、鋭意技術開発が進められてきた。例えば採炭切羽においては、切削機と切羽天盤を保護する自走枠（油圧自走支保）、及び切羽コンベヤーの一連の動きを自動制御するシステムは完成しており、さらにコンベヤーの運転負荷を検知して切削機の色度を制御し、オーバーロードを防止する技術も開発されている。ドイツの深部炭鉱では炭層が薄いため人間の作業性が悪く、このため切羽は完全無人化され、坑外管理室からの自動制御を行っている。また立坑や斜坑の巻き上げ機については、既に無人運転が普及している。

研究目的等の地下空間において、労働者が働けない環境（高温・高濃度ガス・酸欠）は考えにくい。したがって無人化・自動化の目的は労務費削減及びヒューマンエラー防止の手段となることが主と思われる。この場合でも、安全対策に関しては十分な配慮が行われなければならない。

4.4.5 坑内物流の課題

坑内物流は、試験や研究の目的に合致した能力を持たせることが重要である。大規模施設を設置することは、この目的に十分な能力を発揮することは明らかであるが、経済合理性を追求し投資額を最小化するために、坑内物流設備・システムを適切な規模とする必要がある。

4. 5 湧水対策

4. 5. 1 炭鉱における湧水対策

(1) 湧水の状況と湧水量

炭鉱等においては、堆積層の採掘を行うのが主流であり、坑内湧水の多い場合がある。特に海底下採掘等、海拔レベルの低いところでの採掘では湧水が多い。北海道内陸の炭鉱では坑口からの深度は大きかったが坑口標高が高く、一般的に湧水は微量であった。

炭鉱で総ばらし採掘を行った場合は採掘跡が崩落し、さらに上部の地層に亀裂を与える。この影響範囲は稼行丈の約10倍程度と言われている。一般的には炭層上位の難透水層の介在とその厚さが地表水浸透防止の目安となる。

通常の水流量には季節変化を伴う場合と、伴わない場合がある。また、採掘部内の移行に伴い、湧水量は変化していく傾向がある。地下水を含む含水帯に当たると、出水が起きることがある。三池炭鉱では毎分120 m³以上の湧水があった。一方、北海道の砂川炭鉱では最大でも毎分10 m³程度であった。三池炭鉱や池島炭鉱では予想を上回る出水を経験した事例がある。

このような異常出水が生じた場合、他の災害に比べ事例は少ないが罹災者が出る重大災害に繋がることもある。過去の出水災害事例を見ると、昭和24年から平成3年までに北海道地区で24件（罹災者数31人、内死亡21人）本州地区213件（罹災者数129人、内死亡107人）、九州地区で176件（罹災者数283人、内死亡231人）の出水災害が発生しているが、昭和54年以降は九州地区で3件発生しているに過ぎない。出水災害の特徴は、災害の性格上罹災者数中の死亡者数が極めて多いことである。

出水は、以下のような様々な原因で発生している。

- ・旧坑からの出水、隣接炭鉱からの出水
- ・豪雨による地表からの浸水、浸透水の出水
- ・基盤水からの出水
- ・地表陥没による出水
- ・落盤による採掘跡溜まり水の出水
- ・断層逢着による出水
- ・含水層からの出水

(2) 湧水対策の実状

炭鉱等においては、坑内湧水は揚水されるのが一般的である。設備としては水平坑道で排水溝を用いる場合が多い。坑底側を低めにして、掘削は若干の昇り勾配とする。これにより自然流下で坑底に湧水を誘導することができる。また坑外への揚水にはポンプ等の揚水設備を用いる方法が一般的である。

ポンプの能力は異常出水をも想定して、余裕のあるものとしている。また停電時の対策も行われている。

また、採掘計画においても湧水をコントロールする方法が検討されている。採掘跡の天盤亀裂が湧水を増加させることが予想される時、天盤を崩落させない採掘方式が取られる場合がある。充填方式や柱房採掘などである。さらに湧水量の増加が予想される区域においては、先進ボーリングにより徐々に抜水していく方法も取られる。また、坑道壁面の浸透性を低くして坑道内への湧水を制御する方法も取られる。この場合は、水圧を考慮した施工が行われる。

湧水量が多く掘進作業が困難な場合には、セメントミルクや樹脂の注入等により湧水防止措置がとられる。また湧水が著しい場合には、バルクヘッドの打設、抜水ボーリング等の措置が施される場合もある。

大量の湧水により採炭作業の生産性が低下することが予想される場合には、予め採掘区域の下部に抜水坑道を掘削し、地下水位を低下させてから採掘部内を展開する方法が採られたこともある。

(3) 出水対策の実状

鉱山保安法では第851条から第876条までに、海底等の地下での採掘の場合、旧坑等への接近の場合等について特別掘採計画の策定を求めている。また具体的な対策について、ボーリング等による地質条件の把握、海底下等の第四紀層の厚さと第三紀層の厚さの関係による採掘制限、防水堰堤の設置、先進ボーリング等について条文を定めている。

出水の想定される場合は、設備面での強化が必要である。たとえば非常用バックの設置や防水扉の設置が必要となる。非常用バックは常用バックがオーバーフローしないようにするもので、通常は空にしておくとともに、ポンプやパイプ等予備の排水設備を準備しておく必要がある。しかし、出水時のポンプやパイプの追加設置

は訓練を必要とする困難な作業である。防水扉は出水の予想される区域へつながる坑道の強固な部分に設置される。通常は取り開けを前提とした物ではなく区域の放棄を前提とする。水圧に耐えられる十分な強度を有するものでなければならない。配電設備は出水の影響を受けない場所に設置される。

4.5.2 立坑掘削における湧水対策

(1) 湧水の事例

炭鉱の立坑及び斜坑からの出水の例として、すでに閉山となった夕張新炭鉱で、表4.5-1に示すような事例がある。このうち4例が立坑に関するものであり、特に1例は出水量が揚水能力を上回り、一時的に切羽を放棄する事態に至っている。このときは立坑内を湛水して湧水圧とバランスをとった後、坑底にトレミー管を入れセメントミルクを坑底に流し込んでバルクヘッドを打設した。このバルクヘッドの上からボーリング、グラウト注入を行って止水工事を終えた後に立坑掘削を再開している。

表4.5-1 夕張新炭鉱における水突出事例

No.	年	月	坑道	坑口からの距離(m)	水圧(atm)	水量(リットル/min)	地層	岩質	原因	出水の時間
1	1971	8	材料斜坑	1,374	(43)	400	幌内	硬頁岩	水・ガス	発破と同時
2	"	"	"	1,376	(#)	900	"	"	"	"
3	"	"	"	1,378	(#)	2,000	"	"	"	抜水ボ-リング'中
4	1972	1	第1立坑	402	(35)	1,200	"	頁岩	水	バックカ締付中
5	"	4	材料斜坑	2,033	56	540	"	"	"	(止水ボ-リング) 注入中
6	"	5	ベルト斜坑	2,044	56	4,340	"	硬頁岩	水・ガス	ずり積中
7	1973	5	第2立坑	393	40~100	300	幾春別	砂岩	セメントミルク	注入中
8	"	7	"	405	33.3	2,750	"	"	水・ガス	築壁中
9	1974	1	"	430	35.9	2,450	"	石炭及び砂岩	"	"

*: ()は実測値ではなく計算値である

(2) 掘削中の湧水処理

一般に立坑掘削では、地質調査のためのパイロットボーリングを行い、水抜き坑を設けた後、立坑を掘り下げるのが普通である。しかし、立坑下部に既存坑道が存在しない場合は、めくらで掘削することになる。この場合、湧水は常に立坑底部の切羽に集まり、掘削能率を低下やコンクリート打設にも支障を来すなど、掘削作業に様々な悪影響を及ぼす。このため、湧水対策は立坑施工上の最大の課題である。

また、多量の湧水の予想される立坑では、水抜きボーリング孔の有無にかかわらず、止水グラウト（先進防水グラウト）を行って、掘削に支障のない程度に湧水を抑えて掘削を行う必要がある。

湧水に対して現在行われている排水処理方法には、以下のようなものがある。

①キブルによる排水

比較的湧水量が少ない場合は特別な排水設備を設けず、サンプポンプでずりキブルに汲み入れ、ずりとともに巻き上げる。巻上機的能力にもよるが、一般に50ℓ/分程度の湧水が限度である。

②ポンプ設備による排水

水抜きボーリングのない立坑で湧水がある場合には、予想される最大揚水量に対応した排水設備を計画する（図4.5-1参照）。

③水抜きボーリング孔による排水

一般には、水抜きボーリング孔による排水が最も有効な方法であり、排水能力も大きくなる。通常100mm程度のケーシングパイプが多く用いられる。

④ウォーターリングによる集水

立坑の覆工コンクリート打継目からの湧水は避けられない。この湧水量が多くなると、コンクリート打設時に型枠の中に流入し、コンクリートの品質低下を招いたり、作業環境を悪化させる。この場合は図4.5-2に示すようなウォーターリングを、立坑内壁に通常30～40m間隔で設け、集水処理を行う。

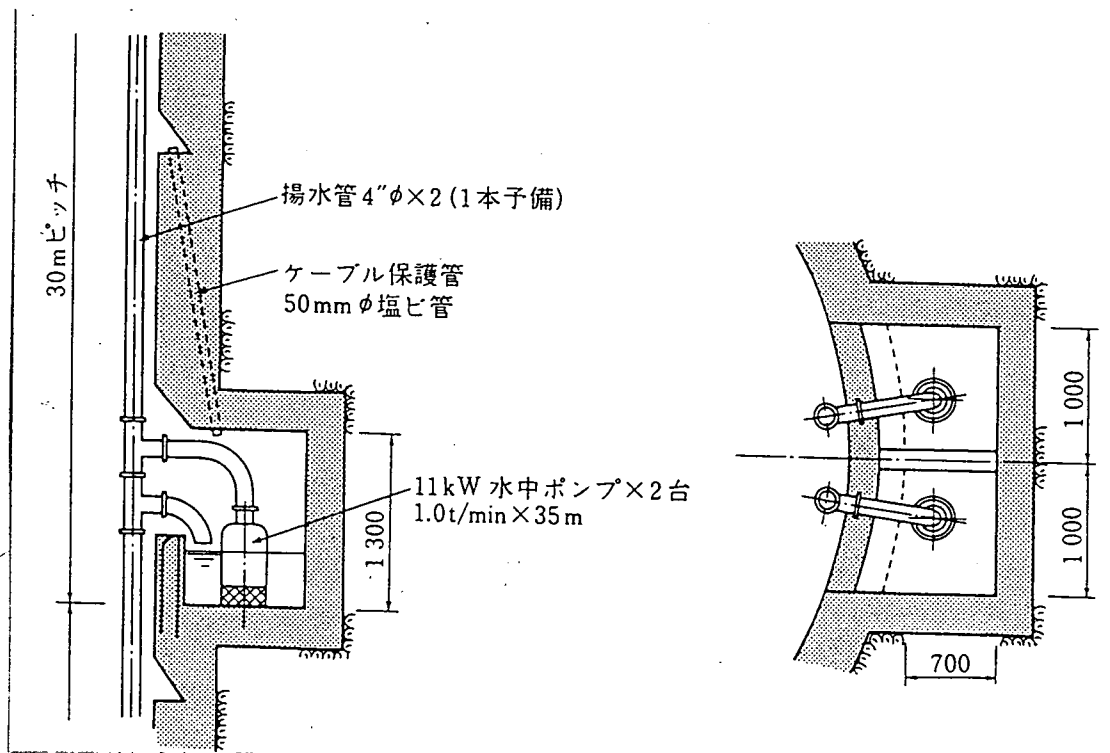


図 4.5 - 1 小容量の揚水設備の例 (1.0t/分以下)

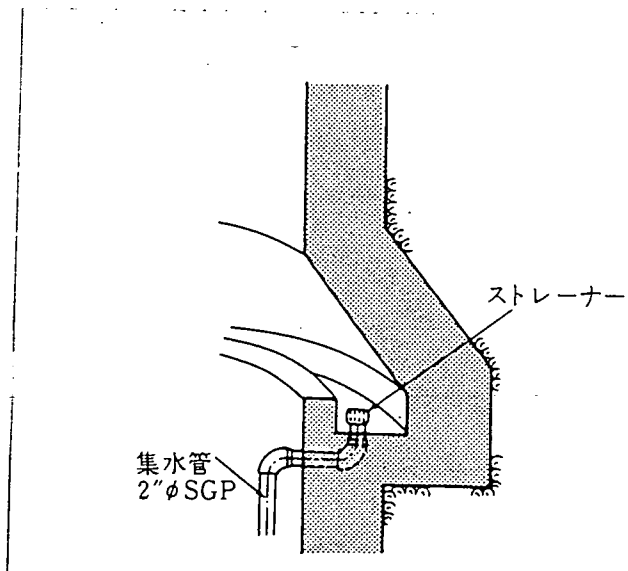


図 4.5 - 2 ウォーターリングの構造の例

(3) 止水グラウト（先進防水グラウト）

立坑掘削前にはパイロットボーリングを実施し、地質・湧水状況の調査を行うが、このボーリングのみで立坑の湧水状況を完全に把握することは難しい。このため、立坑の各掘削ステップでは掘削に先立って、一般に30～40mごとに先進探査ボーリングを実施する。その結果、掘削に支障を来すような湧水が予測される場合にはグラウト工事を行い、できるだけ湧水を抑えて掘削を行う。

探査ボーリングは、図4.5-3に示すように立坑円周の接線方向に4本所定深度まで行い、その結果、湧水があれば注入作業を開始する。もし湧水のない場合は、計画深度まで掘削を行い、カバーロック5～10mを残して次のステップの掘削を行う。

注入孔の本数は、図4.5-4に示すように内径5～6mの立坑では16本前後が標準的である。注入孔はボーリング孔先端が掘削面から5m程度離れるように立坑円周の接線方向に掘削するのが一般的である。

注入材は、立坑では一般に高圧注入であり、強度の出るセメント系グラウトが主に用いられる。しかし、亀裂が大きく大量注入が予想されたり、逆に破碎帯等でセメントミルクが浸透しにくい場合には、LWや水ガラス系薬液が用いられる。カバーロックの岩質が極端に悪い場合には、ウレタンが用いられることもある。

表4.5-2に、三井建設(株)が施工した立坑における主な止水グラウト施工実績をまとめて示す。また表4.5-3に、松島炭鉱(株)池島排気立坑における止水グラウト工事の実績表を示す。

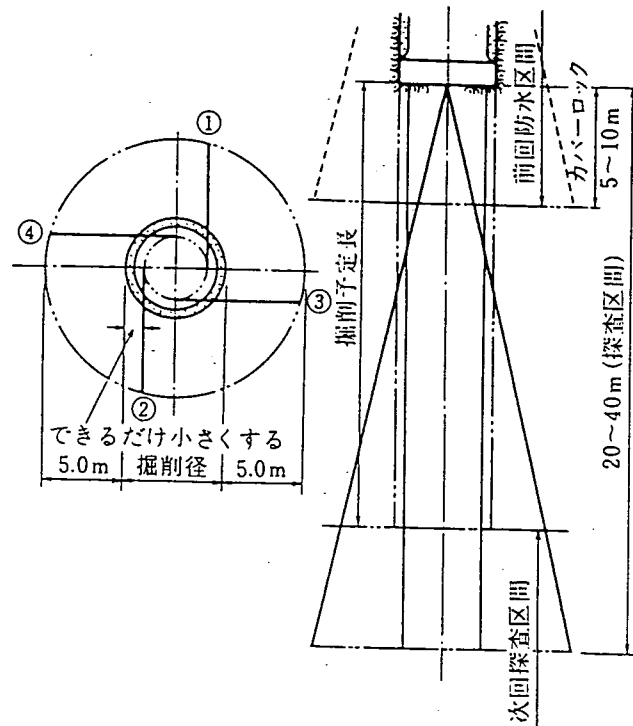


図 4.5-3 探査ボーリングの規格の例

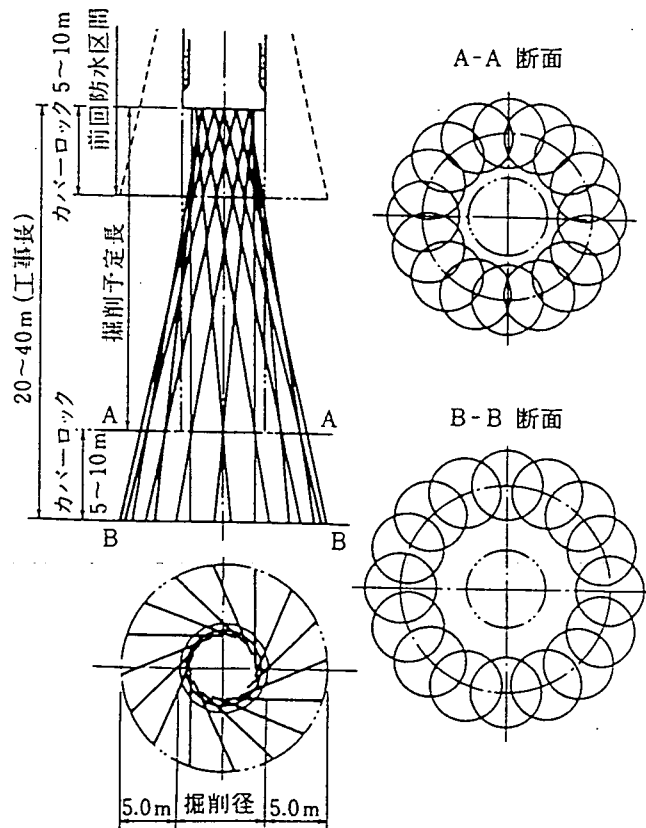


図 4.5-4 注入孔の規格の例

表 4.5-2 立坑における止水グラウトの施工実績 (三井建設(株)施工分)

発注者	工事名称	場所	径(φ)×深さ(φ)	工期	工法	岩質	水抜 ¹⁷	注 入 材
三井鉱山	三池港沖立坑	福岡県	6.2×793	29.5~34.2	井筒156m, L.S.S	粘土、頁岩、砂岩	5 inch	セメント
〃	山野第2立坑	〃	6.0×737.5	30.11~34.12	L.S.S	頁岩、砂岩	6 inch	セメント、ハイト ¹⁷ 〇ツツ
日本炭鉱	高松第5立坑	〃	6.0×1,014.6	34.3~37.6	〃	砂岩、礫岩	5 inch	セメント、ハイト ¹⁷ 〇ツツ
〃	若松第6立坑	〃	5.5×657.5	38.2~40.1	S.S.S	砂岩、頁岩	4 inch	セメント、ハイト ¹⁷ 〇ツツ
松島炭鉱	池島排気立坑	長崎県	6.0×720	38.6~41.4	L.S.S	砂岩、砂質泥岩	3 inch	セメント
〃	大島入気立坑	〃	5.0×705	40.11~43.10	S.S.S	砂岩、頁岩	3 inch	セメント、ハイト ¹⁷ 〇ツツ、フライツツ
北海道炭鉱汽船	平和第3立坑	北海道	6.0×427	42.11~44.4	〃	頁岩、砂岩	-	セメント、ハイト ¹⁷ 〇ツツ
日本炭鉱	若松第7立坑	福岡県	5.0×650	43.12~45.7	〃	砂岩、頁岩	4 inch	セメント、ハイト ¹⁷ 〇ツツ、フライツツ
松島炭鉱	池島第2立坑	長崎県	6.0×754	44.9~46.5	〃	玄武岩、砂岩、頁岩	4 inch	セメント、ハイト ¹⁷ 〇ツツ、フライツツ
日本国有鉄道	新幹線犬鳴立坑	福岡県	6.0×118	47.9~48.5	〃	黒色片岩、緑色片岩	-	セメント、ハイト ¹⁷ 〇ツツ、LW、クレタ
三井鉱山	三池三池島立坑	〃	6.0×509	45.7~48.3	井筒183m, S.S.S	砂岩	4 inch	セメント、ウルタン
北海道炭鉱汽船	夕張新鉱第1立坑	北海道	7.0×916	45.11~49.4	S.S.S	頁岩、砂岩	-	セメント
〃	夕張新鉱第2立坑	〃	7.0×808	45.11~50.1	〃	頁岩、砂岩	-	セメント
松島炭鉱	ひき島入気立坑	長崎県	5.0×720	49.7~51.6	〃	頁岩、砂岩	4 inch	セメント、フライツツ
日本国有鉄道	新幹線高山立坑	群馬県	6.0×295	47.11~51.6	〃	泥流凝灰岩、安山岩	-	セメント、LW
松島炭鉱	ひき島排気立坑	長崎県	6.0×670	51.6~54.3	〃	頁岩、砂岩	4 inch	セメント、フライツツ
〃	池島第2立坑追さく	〃	6.0×133	51.6~54.3	〃	頁岩、砂岩	4 inch	セメント、フライツツ
水抜きボーリング施工立坑 (止水グラウトは実施せず)								
日本道路公団	恵那山トンネル換気立坑	岐阜県	6.1×571.2	55.9~59.6	S.S.S	濃飛流紋岩	6" スリット	
〃	長峰第2トンネル換気立坑	和歌山県	5.4×344	56.4~58.5	〃	緑色片岩、石英片岩	4 inch	
大阪府道路公社	第2阪名トンネル中央立坑	大阪府	9.3×481	62.12~7.6	〃	閃緑岩	4" スリット	
建設省	安房トンネル換気立坑	岐阜県	6.0×737.5	4.10~	〃	チャート、粘板岩、石灰岩	6" スリット	

表 4.5-3 松島炭鉱(株)池島排気立坑における止水グラウト工事の実績

地層名	柱状	坑口深度	立坑構造及び 試錐位置の図	止水工事実績									
				止水回数 (回)	所要日数 (日)	工事長 (m)	試錐 試錐本数 (本)	全試錐長 (m)	注入本数 (本)	セメント量 (袋)	ライオン量 (袋)	全湧水量 (L/min)	孔首最大湧水量 (L/min)
玄武岩		100	扇風機風道	1	6.8	15.9	7	147	7	894		0	0
				2	1.3	16.5	5	41	5	50		0	0
				3	11.4	19.1	15	395	11	1493		0	0
互層 平砂岩	互層 平砂岩	100	扇風機風道	4	4.8	26.5	17	189	16	695	84	0	0
5				11.7	26.9	22	637	17	355	142	73	30	
6				14.0	30.2	30	1063	29	1440	438	749	200	
互層 粗砂岩層	互層 粗砂岩層	200	扇風機風道	7	14.6	31.3	24	771	20	4714	950	2062	900
8				11.5	30.1	29	981	26	2503	902	2326	700	
互層 二砂岩層	互層 二砂岩層	200	扇風機風道	9	5.7	10.0	13	337	13	711	606	250	90
10				13.8	32.0	20	652	15	2497	759	10	3	
筍貝層		300	扇風機風道	11	9.5	31.7	17	611	16	2715	535	522	230
				12	8.3	32.1	13	428	12	1975	432	207	48
				13	10.3	29.9	17	600	16	2161	277	358	120
夾炭層		400	扇風機風道	14	6.8	32.2	15	524	15	1065	394	108	40
				15	2.9	36.6	9	245	6	310	102	逸水	逸水
				坑底接続部	16	3.8	22.0	8	160	7	248	72	逸水
互層 砂岩層	互層 砂岩層	500	扇風機風道	17	19.3	23.1	12	250	7	1485	3	逸水	逸水
				18	7.4	20.4	9	223	6	211		逸水	逸水
互層 砂岩層	互層 砂岩層	600	三坑底 接続部	19	5.3	55.0	8	331	8	227	51	16	10
				20	4.7	31.3	19	654	17	1285	363	557	250
互層 砂岩層	互層 砂岩層	600	三坑底 接続部	21	9.2	25.4	10	374	10	580	250	13	3
				22	7.2	26.4	9	289	7	359	50	7	2
				計	22	109.0	604.6	328	10330	328	10330	6410	6410

最終総残水量 86L/min

(4) 湧水量の立坑掘削に及ぼす影響

(a) 湧水量と掘削能率

現在までの立坑掘削の多数の経験と実績より、めくらで立坑を掘削する場合の切羽の湧水量と立坑の掘削能率の目安としては、一般に以下のように判断される。

i) 50ℓ/分以下

この量までは掘削能率に影響はない。この程度の湧水は、ずり積中は発破ずりに浸透付着して自然処理でき、また穿孔時はサンプポンプ1台でキブルに汲んで処理可能で、特に排水設備等を必要としない。

ii) 50～200ℓ/分

湧水量が50ℓ/分を超え200ℓ/分へと増加するのに伴い、切羽に揚水設備等が必要となり、漸次掘削能率に影響を与える。その限度は200ℓ/分程度である。

iii) 200ℓ/分以上

200ℓ/分を超えると、たとえ坑底に揚水設備をしても掘削しながら切羽の湧水を処理することは困難で、能率は極端に低下するばかりでなく、停電、故障等時の事故発生による坑底溜水、あるいは水没が考えられる。この限度を超えると掘削不能に近く、また経済的にも成り立たない。ちなみに立坑掘削径を7.3mとすると、200ℓ/分の湧水量はおおよそ30mm/時程度の降雨強度に匹敵する。

(b) 湧水量が掘削能率に及ぼす要因

湧水量が50～200ℓ/分までの場合の立坑掘削能率に及ぼす要因を以下に述べる。

i) 穿孔作業

- ・溜水のためスライムの排出が悪く、また細粒岩が孔に流れ込んで、タケノコの発生率が多くなり、再穿孔を要するようになる。
- ・穿孔終了後、ノミを抜くと同時にスライムや微細粒ずりが流れ込んで穿孔長が短くなり、再穿孔を要するようになる。
- ・ドライに比べ慎重な穿孔をするので所要時間が長くなる。

ii) 装填作業

- ・水中装填であるため、スライムや微細粒ずりが薬包挿入と同時に流入して途中詰まりを起こす。
- ・水中での火薬取扱は慎重を要し、装填チェック等に時間を要する。

iii) 結線発破作業

- ・短絡、漏電の防止処置対策に時間を要する。
- ・結線漏れの点検を入念に行う必要がある。

iv) ずり積作業

- ・積込機が水中ずりを掴むことになるので十分な能力発揮ができず、ずり処理に時間が長くなる。
- ・排水設備（ポンプ等）を避けての積込機の行動が制約を受ける。
- ・ずり積中のポンプ移動に時間を要する。

v) 盤浚え作業

- ・穿孔準備の盤浚えに微細粒ずりまで完全に浚えなければならない。

vi) 築壁作業

- ・コンクリートの品質低下を防ぐため、築壁の都度集水処理を行う必要がある。
- ・コンクリート打設中の坑底溜水を、その後に処理しなければならない。

vii) ポンプや揚水設備の故障による能率低下

- ・スライムを吸上げるため、ストレーナの目詰まりが頻発し、その都度溜水する。
- ・スライムのためにポンプ弁等の摩耗が激しく、設備の取換え修理が頻繁となり、その都度坑底に溜水する。

なお溜水処理中は掘削を中止しなければならない。

viii) その他

- ・発破排煙が終わるまで坑底ポンプを撤去・待避しておくので、その間の溜水を排除しなければ作業に掛かれない。
- ・湧水のため掘削用機械器具の故障、損耗による修理、取換えの頻度が多くなる。
- ・作業環境が極度に悪くなって、作業員の嫌悪感、疲労度が高くなり、作業能率や意欲が低下する。
- ・漏電、その他保安環境悪化の対策に時間を要する。

4.5.3 湧水対策の課題

炭鉱の坑道においては湧水箇所が一時的な使用箇所であり、採掘後には密閉される場合も多い。この場合、湧水を抑える対策に費用をかけるより、揚水するというのが一般的である。

一方、研究を目的とした坑道においては、研究成果を得る上で支障のない範囲・程度に限定した湧水対策を計画することが大きな課題といえる。研究成果の獲得という第一義的な目標と、湧水対策費、排水設備費のイニシャルコストとメンテナンスコストとしての排水電力費のトータルコストの最小限化という目標を両立させた計画を検討することが極めて重要である。

<第4章 参考文献>

- 1) 鉱業労働災害防止協会：鉱山保安テキスト(坑内)，昭和60年3月31日改訂版
- 2) (財)石炭技術研究所：盤庄，平成4年3月
- 3) 福島 篤ほか：石炭鉱山におけるロックボルト，トンネルと地下，第13巻5号，1982年5月
- 4) NEDO/JCOAL：技術者交流事業(炭鉱技術分野)国際交流事業 国内ワークショップ，平成9年3月
- 5) NEDO/JCOAL：技術者交流事業(炭鉱技術分野)国際交流事業 国内ワークショップ，平成10年3月
- 6) NEDO/JCOAL：技術者交流事業(炭鉱技術分野)国際交流事業 国内ワークショップ，平成11年3月
- 7) NEDO/JCOAL：技術者交流事業(炭鉱技術分野)国際交流事業 事前調査 北米，平成12年3月
- 8) NEDO/JCOAL：技術者交流事業(炭鉱技術分野)国際交流事業 事前調査 欧州，平成13年3月
- 9) 都城秋穂：世界の地質，岩波書店，1979年
- 10) NEDO/JCOAL：技術者交流事業(炭鉱技術分野)国際交流事業 事前調査 米国，1999年3月
- 11) Z. T. Bieniawski：Rock Mass Classification as a Design Aid in Tunnelling, 1988
- 12) G. M. Molinda and C. M. Mark：A Practical Rock Mass Classification for Coal Mines, 1994
- 13) JCOAL：世界の炭田概要，平成11年3月

注：NEDO - 新エネルギー・産業技術総合開発機構

JCOAL - (財)石炭エネルギーセンター

- 14) 三井鉱山エンジニアリングほか：平成6年度石炭鉱業構造調整円滑化補助金事業
「国内炭鉱技術活用可能性調査事業(中国)」坑内地圧状況解析調査報告書，1995
- 15) Rock Mechanics Technology Plc：プレゼンテーション資料，2000
- 16) 通商産業省環境立地局監修：鉱山保安規則(石炭鉱山編)平成8年版
- 17) 通商産業省立地公害局鉱山課・石炭課監修：鉱山施設必携，1988年11月
- 18) 三井石炭鉱業 三池鉱業所：三池炭鉱保安規程，昭和57年8月版
- 19) 中野光雄：鉱山電気施設の保守，電気書院，昭和36年1月
- 20) 通商産業省鉱山保安局監修：鉱山保安教本-機械(上、中、下)、電気(上、下)，昭和39年11月
- 21) 鉱業労働災害防止協会：鉱山保安テキスト-坑内、機械、電気，昭和52年8月第2刷
- 22) Steve Fiscor：Battery-Powered Haulage, COAL AGE, June 1998
- 23) 廣元一夫ほか：池島炭鉱の坑内用インバータ応用技術について，資源と素材，Vol. 113, No. 10, 1997

- 24) 廣元一夫ほか：池島炭鉱における炭鉱技術の動向－特に高速人車の導入と実績について，資源と素材，Vol.113，No.10，1997
- 25) 北海道炭鉱技術会/九州炭鉱技術連盟：出水災害事例集，平成4年3月
- 26) 九州炭鉱技術連盟：死亡者10名以上の重大災害事例集 九州版，平成8年3月
- 27) 西村茂樹ほか：水突出とその対策，資源・素材学会誌，Vol.107，No.13，1991
- 28) 稲毛正昭：換気立坑入門，トンネルと地下，Vol.11，No.10，1980
- 29) 三井建設㈱：社内立坑技術資料
- 30) 三井建設㈱：大深度地下空間へのアクセス「三井建設の立坑技術」（パンフレット）
- 31) 御厨公：立坑開さくに及ぼす湧水量の影響，九州炭鉱技術連盟会誌，Vol.26，No.4

5. 坑道（立坑、水平坑道）の維持管理に関する調査、計画立案

5.1 坑内設備の維持管理

5.1.1 維持管理の基本的考え方

超深地層研究所の研究坑道（立坑、水平坑道）内には、地上と坑内を連絡するための昇降設備、坑内の環境を良好に維持するための換気（通気）設備、空調（冷房）設備、給・排水設備、電気設備や、設備の異常・故障時に対応するための非常用設備、安全のための設備等が設置されている。

これらの坑内設備は、設備の種類や設置環境条件、使用条件によって維持管理の手法が異なり、機能を維持する上で点検・修理・清掃・分解整備等、実情にあった維持管理を行っていく必要がある。また設備によっては関連法令により維持管理が義務付けられているものもある。

一般的には維持管理を行う際には、各設備の特徴や機能を十分把握した上で各設備に適合した頻度で点検する必要がある。各設備の機能を維持するものとしては

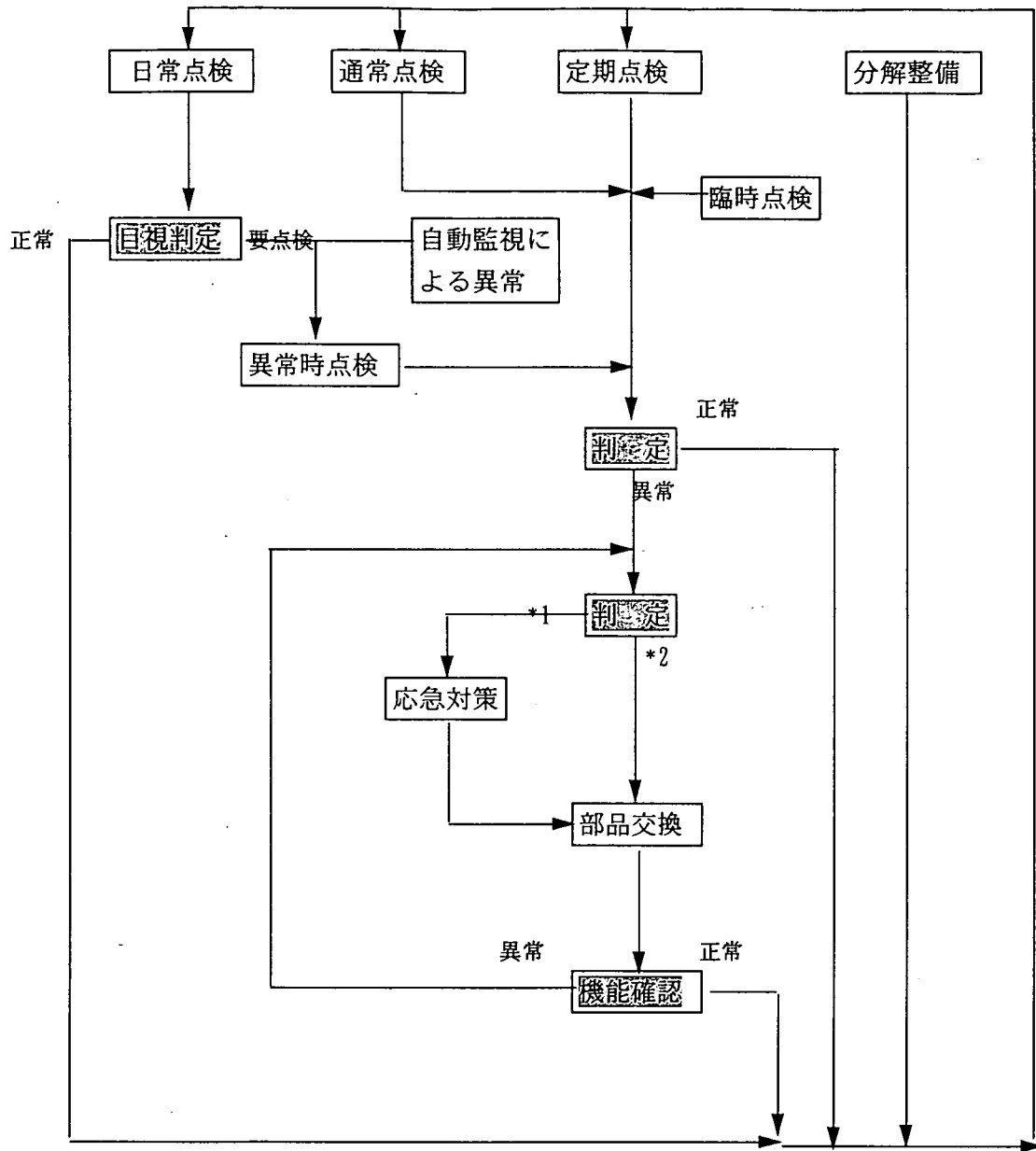
- ①点検しながら機能を確認していくもの
- ②消耗品を交換していくもの
- ③清掃をして機能を維持していくもの

などがある。

実際の維持管理では、目視による点検・清掃（日常点検、通常点検）、機能確認を行う点検（定期点検）、及び分解整備を効果的に実施していくことが必要である。また、設備の故障や火災事故、地震等の災害が発生したときには、事前・事後に点検（臨時点検）を行うとともに、異常発見時には異常時点検を行う。なお、分解整備は設備・機器ごと、稼働状況により整備内容が異なるため、作業は設備の構造を熟知している専門技術者が行うものとする。

また、設備の維持管理によって得られた各種の点検結果の実績を用いて故障履歴等の統計解析を行い、以後の設備の分解整備計画、補修計画、及び更新計画について検討し配慮していくことも必要である。

設備の維持管理の流れを、図5.1.1-1に示す。



*1 保有する部品等で復旧出来ない場合

*2 保有する部品等で復旧出来る場合

図 5.1.1-1 設備の維持管理フロー

図 5.1.1-1 に示すように、坑内設備の維持管理は日常点検・通常点検・定期点検を中心に行い、災害等が発生した場合に臨時点検を実施する。それぞれの点検等の内容は以下のとおりである。

①日常点検

通常巡回点検を行い定常の状態と異なるものを発見するための点検

②通常点検

目視や簡単な工具を用いて設備の運転状態（騒音、臭気、振動等）・損傷の有無・盤面上の計器による指示値の確認等を行う点検

③定期点検

機器の動作及び機能について、計測・試験・清掃・消耗品の交換・各部の取付け状態の確認を行う点検である。ただし、定期点検実施時には通常点検の内容も同時に行う。

④臨時点検

災害等が発生した場合に各設備に異常がないかを発見する点検

⑤異常時点検

日常点検・自動監視等で発見された異常等の内容を把握するための点検

⑥分解整備

機器を分解し通常・定期点検では確認することの出来ない箇所の点検及び消耗品の交換を行うものである。分解整備時には機器の機能停止が伴うため、機能のバックアップ及び分解整備の実施時期等の検討が必要である。ただし分解整備の実施に当たっては、通常点検及び定期点検の結果を踏まえ、機器の特性を考慮して実施することが望ましい。

⑦自動監視

研究坑道等に設置された機器の故障や、状態の変化を自動的に監視することを行う。故障が発生したときは、詳細に状況を確認するための異常時点検を行う。

「地下施設の設計研究 平成10年度」によれば、地下施設掘削や試験研究に使用される坑内の諸設備は、一般的な設備・機器が殆どであり、維持管理上からは通常の坑内環境で使用する場合と比べて特に問題はないものと考えられる。本検討では坑内の環境条件を以下のように設定するものとする。

- ①ガス湧出 : 可燃性ガスの湧出はないものとする。
- ②放射性物質 : 放射性物質の湧出はないものとする。
- ③湧水条件 : 設備維持管理上考慮すべき量の裂か水または断層からの大量出水はないものとする。
- ④気圧の影響 : ガス湧出を考慮しないため、設備維持管理上気圧変化を考慮する必要はないものとする。また、大気圧の変化が換気（通気）挙動に影響を与えるほどの坑内絶対圧力の変化はないものとする。

また、これらの機器の耐用年数は坑道維持期間や坑内環境条件等を考慮して決定すべきである。当然のことながら、強固な構造のものは耐用年数が長い反面、価格は高くなる。一方、耐用年数が短い機器を選定すると、坑道維持期間内の更新や分解整備を行う必要も出てくる。つまり、初期投資を高くして維持費を低くするか、初期投資は抑えるが高い維持費を覚悟するかという選択になる。

坑内設備の維持管理で重要なことは、設計された設備・機器の性能をいかに維持していくかということである。ここで坑内設備の維持とは、坑内各所で使用されている設備・機器の故障及び故障がもたらす人的・物的被害の発生を未然に防止することを目的として行われる機能維持・点検等の予防保全作業である。坑内設備の不具合がもたらす危険性には、その機器の機能停止による2次的障害の波及と、機器本体の損壊等による人的危険性があり、地下に坑道を展開する産業にとってそのダメージは計り知れないものがあり、日常・通常・定期の維持管理が重要となる所以である。

言うまでもなくどんなに優れた機械でも、機械は必ず故障する。また、完璧な整備が行われていても、性能以上の負荷に対しては機械は正常ではあり得ない。これは全ての設備・機器に共通することであり、また維持管理上の課題でもある。したがって、もし機器の異常が発生しても、早い段階で発見し処置を行い得る体制と設備を構築しておくことが非常に重要である。例えば機械・電気設備等で異常が発生した場合、時

には高熱を発生し発煙する場合が考えられる。あるいは有害ガスが発生する場合なども考えられ、このような場合には防災上の課題が生ずるとともに、風下の就業者にとって大変な恐怖を抱かせる。この問題に対処するため、以下の設備を設け早期発見、処置を行うことが必要である。

- ①坑内就業者への警報連絡装置（無線連絡装置、電話等）
- ②集中監視装置による設備監視
- ③設備異常発生時の他への波及防止措置

5.1.2 立坑昇降仮設備

(1) 昇降仮設備の適用法規の変遷

我が国の立坑は、鉱山開発や既設鉱山の効率化を目的として、昭和 30 年頃から昭和 50 年頃まで数多く施工された。それらに使用され発達した立坑櫓・巻揚機設備等の立坑設備は、鉱山保安法の適用を受けて維持管理されてきた。

鉱山以外の立坑で昇降仮設備が初めて労働安全衛生法のエレベーターとして適用を受けたのは、昭和 47 年に上越新幹線トンネルの作業用立坑用に設置した立坑掘削設備である。しかしこの設備は特殊な構造であるため、エレベーター構造規格の全面適用が困難と認められ、一部、構造規格の適用除外申請をして使用することになった。

以下に、主な立坑設備適用法規についての変遷を示す。

①昭和 47 年に労働基準局長から都道府県労働基準局長へ「立坑掘削設備の扱いについて」が全国通達(昭 47.8.1 基収 2896 号)され、鉱山以外の立坑では初めて鉄道トンネルの作業用立坑掘削設備が工事中エレベーターとして取り扱われるようになった。

この時のキブル巻揚機は、人・荷供用エレベーターになっており、搬器を取り替えて人はマンキブル、ずり搬出はずりキブルを使用するものであった。また、スカフォードは、吊り足場としての取り扱いになっていた。

②昭和 56 年に自動車道路トンネル換気立坑で、スカフォードがゴンドラの適用を受けることになった。その時の所轄監督署の意見は、スカフォードの使用目的からすると、短時間ではあるが人が乗って昇降する足場であるため、ゴンドラへの法規適用が適切であるとのことであった。

③昭和 60 年頃からキブル巻揚機を建設用リフトとして届け、人の運搬は人専用のエレベーターを別に設置するようになった。その理由は、ずりや資材の運搬中にも人の入昇降ができるので、立坑の掘削能率が高いことと、ロープの安全率がエレベーターの場合 10 以上であるのに対して建設用リフトでは 6 以上にすることができるためである。これにより、超深度立坑では巻揚機の小型化が図れることとなった。

建設用リフトの定義は「荷のみを運搬することを目的とするエレベーターで、土木、建築等の工事作業に使用されるものをいう」になっており、基収 2896 号の人を乗せない設備として設置届を行っている。

(2) 昇降仮設備の維持管理の考え方

立坑は、上下に垂直展開するので、人員、ずり、材料などを運搬するための立坑櫓、キブル巻揚機設備、人専用巻揚機設備と坑内作業基地としての吊り足場であるスカフォード及びこれを移動するスカフォード巻揚機設備が必要である。

それぞれの設計基準は、次の構造規格の適用を受ける。

- ① キブル巻揚機設備 : 建設用リフト構造規格
- ② 人用巻揚機設備 : エレベーター構造規格
- ③ スカフォード巻揚機設備 : ゴンドラ構造規格

今回、計画している立坑昇降設備の特徴としては、

- ① 一般的な建設機械に比べ、非常に大がかりな設備となる。
- ② 使用期間が長期にわたる。
- ③ 坑内で使用する全ての資機材は、巻揚機のロープに吊るして運搬する。

以上のことからそれぞれの巻揚機設備の維持管理に当たっては、関係法令の遵守、運転方法、各設備の安全装置の構造の熟知及び検査・点検の確実な実施は勿論のことであるが、法規に規定されない部分についても、昇降設備仕様及び使用条件に合致した詳細な管理基準を設けることが安全確保の上で重要である。

ここでは、昇降設備の管理上の課題を整理するとともに、その実施例として、ずり搬出用ワイヤーロープの管理例を記述する。

(3) 昇降仮設備の維持管理の課題と対策

トンネル換気立坑などの土木系立坑では、前述のように労安法の適用を受けて設備の管理を行う。土木系立坑の特徴は鉱山系立坑に比較して、一般に立坑深度が浅く工期も短い。したがって、設備の摩耗や金属疲労等が発生する前に工事が終了していると思われる。土木系立坑では、500mを超えた立坑は恵那山トンネル換気立坑（昭和50年、深度600m）1本だけである。

今回、計画されている立坑は深度1,000mで、しかも立坑掘削後に研究坑道を掘削し立坑を使つてのずり搬出や研究期間内の人員、研究機材等の搬入出があり、また、全体の研究期間も14年の長期にわたっている。事業目的の違いはあるが、鉱山開発に類似している部分も多いので、鉱山の昇降設備の維持管理調査結果を踏まえて課題を記述する。

(a) 課題の整理

i) 適用法規

古くから鉱山で開発・発達してきた立坑設備に対して、昭和 47 年に以下の①から③に示す比較的軽量の機器のための法令が適用されるようになったので、点検・整備などの管理基準を一律に規定できない部分が出てきている。

- ①建設用リフト：タワーリフトなどの土木・建築用の土砂や資材運搬用リフト
- ②ゴンドラ　　：窓拭きゴンドラ
- ③エレベータ　：ビルのエレベーター

ii) ずり搬出設備の構造

ア) エレベータ構造規格

- ① 1 搬器につき 2 本以上のワイヤーロープで吊り下げているので、1 本が切れても落下の危険が少ない。
- ② 搬器の落下及び過速の場合、鋼製ガードレールを使用してブレーキがかかり停止する。
- ③ 昇降路の底部に搬器が衝突した場合でも搬器内の人が安全であるように、衝撃を緩和する装置を設けている。

イ) 立坑のずり搬出装置

- ① ワイヤーロープ(非自転性) 1 本で搬器を吊っている。全ての安全装置はワイヤーロープが切れないことを前提にしている。
- ② 巻揚機を使用してのずり搬出中も、立坑底に作業員がいる。

iii) 長期に使用する場合

以下について管理基準を定めて確実に管理を実施しないと、長期使用の場合は、落下事故の危険性が生じる。

- ① 巻揚機管理　：点検、整備、部品交換
- ② ワイヤーロープの管理
- ③ ワイヤーロープの付属金具

吊り金具(フック、シャックル、ピン)の摩耗等点検と交換基準

- ④ 搬器(ずりキブル、コンクリートキブル)の吊り金具の管理

立坑を 1,000m 掘削すると、搬器のピンや柄を取り付けているブラケット各部の摩耗と金属疲労による損傷があるので、検査方法、交換基準を定めて管理する

必要がある。コンクリートキブルについても函体の摩耗が激しいので同様に管理する必要がある。また、立坑を引き続き研究坑道のずり搬出等に使用する場合には、十分な管理がさらに必要となる。

iv) 鉱山における巻揚機の管理

ア) 規則

- ① 鉱山保安法・鉱山保安規則の「人を運搬する巻揚装置」となる。
- ② 保安規程で詳細な管理基準を定めている。
- ③ 検査は国家試験に合格した機械・電気保安係員が行う。

イ) 検査

- ① 毎日、異常の有無を点検し、保安日誌に記載する。
- ② 巻揚機の安全装置、ワイヤーロープ・吊り金具、ケージ(搬器)を定期的に精密検査をして、管理台帳に記載する。
- ③ 鉱山保安監督局(鉱山機器専門)の性能検査を1年に1回受ける。

鉱山における主要設備等の維持管理関係書式の例を、添付資料1に示す。

(b) 考えられる対策

昇降設備の機器別の詳細な管理基準は今後定めることになるが、今回の調査結果から次のことがいえる。

超深地層研究所の立坑設備は大型で特殊機械を長期に使用するもので、維持管理に当たっては、危険な要素を事前に十分に予想して、それを避ける対策を立てなければならない。鉱山のように長期間かけて熟練者を養育する時間もないので、できる限り点検・検査は適応した機器を使用し、人の経験に頼らない維持管理の確立が必要である。

以下に、機器による維持管理及び熟練技術者による特殊な維持管理作業について整理する。

i) 機器による維持管理

- ① 巻揚機及び立坑櫓は、土木系立坑としては特に大型になるので、鉱山機械の設計技術を反映させた長期使用に耐える仕様とする。
- ② 巻揚機の保安装置は従来のものに加えて、中間ステージの座張りが張り出していた場合にキブル巻揚機が動かないように、また動いていても停止するようなインターロックなど、現場に合ったフェール・セーフを多く取り入れる。

③ 巻揚機は、オシログラフにより定期的に検査して次の各機能を確認する。

- ・ロープの速度制御
- ・電流
- ・ブレーキの作動
- ・ブレーキのタイミング

④ 吊り金具等は摩耗測定のほか、非破壊検査を行って各部の亀裂、金属疲労を検査する。非破壊検査は、磁粉探傷、磁気探傷、X線探傷、カラーチェックなどを検査部分に適応した方法を選定して実施する。

⑤ ワイヤロープはロープテスターを使用して、素線の断線の有無を確認する。また、定期的にロープの確性試験((8)参照)を行う。

ii) 熟練技術者による維持管理

ワイヤロープの管理は熟練技術者に頼ることになる。

ワイヤロープの巻取り

キブル巻揚機ロープは、立坑掘削の最終深さ分のロープをドラムに多段巻きし、掘削の進捗に合わせて追出しして使用する。そのためドラムに巻かれた下段のロープが上段ロープに締められて、上段ロープの配列を割って飛び出し、形崩れを起こす場合が多い。

① ロープの巻き付け

巻揚機はロープの地巻(1段目)を溝代わりにして、ロープを巻き付ける。

- ・地ロープを一定した適当な張力で隙間なく巻き付け、巻揚機を使用中に地巻に上の段のロープが割り込まないようにする。
- ・地巻の最終列とフランジとの隙間の処理と地巻きの最終位置の合わせ方、地巻ロープのドラムに巻き始め対置と最終列の地巻終わりを同じにする。

② ロープの段替部分での綱打ちの処理

綱打ちをさせると短時間で落ちる側・打たれる側とも、素線切れを起こす。綱打ちの場合は、内部の素線を伴うので、目視による点検が困難であり最も注意をしなければならない。

③ 目視での素線切れ発見

一般に段替り部分の損耗が速く進むが仮に表面の素線が1本断線しても、その断線の隙間は0.5mm以下が多く、ロープグリスが付着していて発見しにくい。

そのため、熟練者は経験的に素線断線の起こり易い部分に集中して目視点検を行い、ときには、ロープを一部洗浄して点検する。

(4) 昇降仮設備の仕様と適用法規

主立坑及び換気立坑の設備は、建設用リフト・ゴンドラ・エレベータの組み合わせで計画される。表5.1.2-1に主立坑、表5.1.2-2に換気立坑の昇降仮設備と適用法規をまとめて示す。

表5.1.2-1 主立坑 (φ6.5m×1,000m)昇降仮設備の仕様と適用法規

機器名称	キブル巻上機設備	スcaffold巻上機設備	人専用巻上機設備
(1). 巻上機出力	1,500kW	75kW×2台	200kW
ロープ張力	324kN	591kN (591*4条*2台)	60kN
定格速度	300m/min	6m/min(作業床)	200m/min
(2). 用途	ずり・コンクリート・ ジャンボの運搬	スcaffold(作業床)の 移動	人の運搬
(3). 荷重	ずり : 6.0m ³ コンクリート : 2.5m ³	スcaffold(作業床)	人 : 12人
(4). 適用法規	建設用リフト	ゴンドラ	エレベータ

※建設用リフトには人を乗せることができない。

表5.1.2-2 換気立坑 (φ4.5m×1,000m)昇降仮設備の仕様と適用法規

機器名称	キブル巻上機設備	スcaffold巻上機設備	人専用巻上機設備
(1). 巻上機出力	600kW	30.0kW×2台	150kW
ロープ張力	kgf	240kN (240*2条*2台)	46kN
定格速度	240m/min	5m/min(作業床)	150m/min
(2). 用途	ずり・コンクリート・ ジャンボの運搬	スcaffold(作業床)の 移動	人の運搬
(3). 荷重	ずり : 1.7m ³ コンクリート : 1.2m ³	スcaffold(作業床)	人 : 5人
(4). 適用法規	建設用リフト	ゴンドラ	エレベータ

(5) 主立坑仮設備の適用法規と構造規格

主立坑の昇降仮設備のうち、巻上機設備の主要な仕様、適用法規と構造規格を、表5.1.2-3～表5.1.2-5に示す。

表5.1.2-3 キブル巻上機設備の適用法規と構造規格

NO	機器名	数量	主要仕様	法規上の名称・規則
(1)	立坑櫓	1基	H型 高さ：25.0m・脚間7.0m×7.0m	建設用リフト・構造部分
	ヘッドシーブ	2基	φ2,500 (φ54mmロープ用)	" "
(2)	キブル巻上機	1台	1,500KW・ロープ張力324KN・ロープ速度300m/min	建設用リフト・機械部分
				ドラム径>ロープ径*20
				フリートングル2度以内
	キブルロープ	1本	φ54mm×1,340m	安全率6以上
(3)	キブル類	1式		
	ずりキブル	2台	6.0m ³	建設用リフト・構造部分
	コンクリートキブル	1台	2.5m ³	" "

表5.1.2-4 スカフォード巻上機設備の適用法規と構造規格

NO	機器名	数量	主要仕様	法規上の名称・規則
(1)	立坑櫓	1基	H型 高さ：25.0m・脚間7.0m×7.0m	ゴンドラ・構造部分
	ヘッドシーブ	3基	φ2,000 (φ45mmロープ用)	" "
(2)	スカフォード巻上機	2台	75kW・ロープ張力591KN/4本・ロープ速度24m/min (作業床移動速度6m/min)	ゴンドラ・機械部分 昇降装置
				ドラム径>ロープ径*20
				フリートングル2度以内
	スカフォードロープ	2本	φ45mm×4,400m	安全率10以上
(3)	スカフォード	1基	φ6,100×2段デッキ	ゴンドラ・構造部分
				作業床

表 5.1.2-5 人用エレベータ巻上機設備の適用法規と構造規格

NO	機器名	数量	主要仕様	法規上の名称・規則
(1)	立坑槽	1基	H型 高さ:25.0m・脚間7.0m×7.0m	エレベータ・構造部分
	ヘッドシープ	1基	φ1,500 (φ30mmロープ用)	" "
(2)	エレベータ巻上機	1台	200kW・ロープ張力60KN・ロープ速度240m/min	エレベータ・機械部分
				昇降装置
				ドラム径>ロープ径×40
				フリットアングル2度以内
	エレベータロープ	1本	φ30mm×1,300m	安全率10以上
(3)	ケージ	1台	12人乗	エレベータ・構造部分

(6) 立坑仮設備の官庁検査及び安全点検

立坑仮設備の官庁検査、及び事業者が実施する安全点検の内容を、表 5.1.2-6、表 5.1.2-7 に示す。

表 5.1.2-6 官庁検査一覧

NO	法定名称	現場機器名称	台数	落成検査	有効期間	性能検査	有効期間	適用法規
1	建設用リフト	キブル巻上機設備	1	○	廃止まで			クレーン等安全規則
2	ゴンドラ	スカフォード巻上機設備	2	○	1年	○	1年	"
3	エレベータ	人専用巻上機設備	1	○	1年	○	1年	"

表 5.1.2-7 事業者が実施する安全点検一覧

NO	法定名称	現場機器名称	台数	作業前	月例点検	自主検査	備考
1	建設用リフト	キブル巻上機設備	1	○	○	○	定期自主検査は年1回
2	ゴンドラ	スカフォード巻上機設備	2	○	○	○	"
3	エレベータ	人専用巻上機設備	1	○	○	○	"

※ 定期自主検査は官庁検査前にメーカーによって精密検査を実施している。

(7) 立坑仮設備の管理に関する法令

表 5.1.2-8 立坑仮設備の管理に関する法令(クレーン等安全規則) (1/2)

NO	検査名称	建設用リフト(ずり・資材運搬)	ゴンドラ(スカフォード移動)	エレベーター(人の入昇坑)
1	落成検査	<p>(落成検査)</p> <p>第175条 建設用リフトの各部分の構造及び機能について点検を行うほか、荷重試験を行うものとする。 荷重試験は、建設用リフトに積載荷重の1.2倍に相当する荷重の荷をのせて昇降の作動を行うものとする。</p>	<p>(製造検査)</p> <p>第4条 ゴンドラを製造した者は、労働安全衛生法(以下「法」という)第38条第一項の規定により、当該ゴンドラについて、所轄都道府県労働基準局の検査を受けなければならない。</p> <p>2 前項の規定による検査(以下「製造検査」という)においては、ゴンドラの各部分の構造及び機能について点検を行うほか、荷重試験を行うものとする。</p> <p>3 前項の荷重試験は、次の各号のいずれかに定めるところによるものとする。</p> <p>①下降のみに使用されるゴンドラ以外のゴンドラにあっては、作業床に積載荷重に相当する荷重の荷をのせて上昇及び下降の作動を定格速度及び許容下降速度により行うこと。</p> <p>②下降のみに使用されるゴンドラにあっては、作業床に積載荷重に相当する荷重の荷をのせて下降の作動を許容下降速度により行うこと。</p>	<p>(落成検査)</p> <p>第141条 エレベーターを設置した者は、法38条第3項の規定より、当該エレベーターについて、所轄労働基準監督所長の検査を受けなければならない。</p> <p>2 前項の規定による検査(以下「落成検査」という)において、エレベーターの各部分の構造及び機能について点検を行うほか、荷重試験を行うものとする。 荷重試験は、エレベーターに積載荷重の1.2倍に相当する荷重の荷をのせて昇降の作動を行うものとする。</p>
2	運転者の教育	<p>(特別の教育)</p> <p>第183条 事業者は建設用リフトの運転の業務に労働者をつかせるときは、当該労働者に対し、当該業務に関する安全のための特別の教育を行わなければならない。</p> <p>2 前項の特別の教育は、次の科目について行わなければならない。</p> <p>①建設用リフトに関する知識 ②建設用リフトの運転のために必要な電気に関する知識 ③関係法令 ④建設用リフトの運転及び点検 ⑤建設用リフトの運転のための合図</p> <p>3 安衛則第37条及び38条並びに前2項に定めるもののほか第1項の特別の教育に関し必要な事項は、労働大臣が定める。</p>	<p>(特別の教育)</p> <p>第12条 事業者はゴンドラの操作の業務に労働者をつかせるときは、当該労働者に対し、当該業務に関する安全のための特別の教育を行わなければならない。</p> <p>2 前項の特別の教育は、次の科目について行わなければならない。</p> <p>①ゴンドラに関する知識 ②ゴンドラの操作のために必要な電気に関する知識 ③関係法令 ④リフトの運転及び点検 ⑤ゴンドラの操作のための合図</p> <p>3 安衛則第37条及び38条並びに前2項に定めるもののほか第1項の特別の教育に関し必要な事項は、労働大臣が定める。</p>	<p>(運転方法の周知)</p> <p>第151条 事業者は、エレベーター(運転者が選任され、かつその者が運転するものを除く)の運転の方法及び故障した場合における処置を、当該エレベーターを使用する労働者に周知させなければならない。</p>
3	合図	<p>(運転の合図)</p> <p>第185条 事業者は、建設用リフトを用いて作業を行うときは建設用リフトの運転について一定の合図を定め、合図を行う者を指名して、その者に合図を行わせなければならない。</p> <p>2 前項の指名を受けたものは、同項の作業に従事するときは、同項の合図を行なわせなければならない。</p> <p>3 第1項の作業に従事する労働者は、同項の合図に従わなければならない。</p>	<p>(操作の合図)</p> <p>第16条 事業者は、ゴンドラを使用して作業を行うときは、ゴンドラの操作について一定の合図を定め、合図を行う者を指名して、その者に合図を行わせなければならない。</p> <p>2 前項の指名を受けたものは、同項の作業に従事するときは、同項の合図を行なわせなければならない。</p> <p>3 ゴンドラを使用する作業に従事する労働者は、第一項の合図に従わなければならない。</p>	
4	運転者の義務	<p>(運転位置からの離脱の禁止)</p> <p>第190条 事業者は、建設用リフトの運転者を、搬器を上げたまま、運転位置から離れさせてはならない。</p> <p>2 前項の運転者は、搬器を上げたまま、運転位置を離れてはならない。</p>		

表 5.1.2-8 立坑仮設備の管理に関する法令(クレーン等安全規則) (2/2)

NO	検査名称	建設用リフト(ずり・資材運搬)	ゴンドラ(スcaffolding移動)	エレベーター(人の入昇坑)
5	作業前点検	(作業開始前の点検) 第193条 事業者は、建設用リフトを用いて作業を行うときはその日の作業を開始する前に、次の事項について点検を行わなければならない。 ①ブレーキ及びクラッチの機能 ②ワイヤーロープが通っている箇所の状態	(作業開始前の点検) 第22条 事業者は、ゴンドラを使用して作業を行うときは、その日の作業を開始する前に、次の事項について点検を行わなければならない。 ①ワイヤーロープ及び緊結金具類の損傷及び腐食の状態 ②手すり等の取りはずし及び脱落の有無 ③突りょう、昇降装置等とワイヤーロープとの取付け部の状態及びライフラインの取付け部の状態 ④巻過防止装置その他の安全装置、ブレーキ及び制御装置の機能 ⑤昇降装置の歯止めの機能 ⑥ワイヤーロープが通っている箇所の状態	(作業開始前の点検) ワイヤーロープ等の適用除外により、点検が必要になった。
6	暴風・地震後の点検	(暴風後等の点検) 第194条 事業者は、建設用リフト(地下に設置されているものを除く。)を用いて瞬間風速が毎秒30メートルをこえる風が吹いた後に作業を行うとき、又は建設用リフトを用いて中震以上の震度の地震の後に作業を行うときは、あらかじめ、当該建設用リフトの各部分の異常の有無について点検を行わなければならない。	(悪天候時の作業禁止) 第19条 事業者は、ゴンドラについては、1月以内ごとに1事業者は、強風、大雨、大雪等悪天候のため、ゴンドラを使用する作業の実施について危険が予想されるときは当該作業をおこなってはならない。	
7	月例点検	(定期自主検査) 第192条 事業者は、建設用リフトについては、1月以内ごとに1回、定期的に、次の事項について自主検査を行わなければならない。ただし、1月をこえる期間使用しない建設用リフトの当該使用しない期間においては、この限りでない。 ①ブレーキ及びクラッチの異常の有無 ②ウインチの据付けの状態 ③ワイヤーロープの損傷の有無 ④ガイドロープを緊結している部分の異常の有無 ⑤配線、開閉器及び制御装置の異常の有無 ⑥ガイドレールの状態 2 事業者は、前項のただし書の建設用リフトについては、その使用を再び開始する際に、同項各号に掲げる次項について自主検査を行わなければならない。	(定期自主検査) 第21条 事業者は、ゴンドラについては、1月以内ごとに1回、定期的に、次の事項について自主検査を行わなければならない。ただし、1月をこえる期間使用しないゴンドラの当該使用しない期間においては、この限りでない。 ①巻過防止装置その他の安全装置、ブレーキ及び制御装置の異常の有無 ②突りょうアーム及び作業床の損傷の有無 ③昇降装置、配線及び配電盤の異常の有無 2 事業者は、前項のただし書のゴンドラについては、その使用を再び開始する際に、同項各号に掲げる次項について自主検査を行わなければならない。	(定期自主検査) 第155条 事業者は、エレベーターについては、1月以内ごとに1回、定期的に、次の事項について自主検査を行わなければならない。ただし、1月をこえる期間使用しないエレベーターの当該使用しない期間においては、この限りでない。 ①ファイナルリミットスイッチ、非常止めその他の安全装置、ブレーキ及び制御装置の異常の有無 ②ワイヤーロープの損傷の有無 ③ガイドレールの状態 ④屋外に設置されているエレベーターにあっては、ガイドロープを緊結している部分の異常の有無 2 事業者は、前項のただし書のエレベーターについては、その使用を再び開始する際に、同項各号に掲げる次項について自主検査を行わなければならない。
8	年次点検			第154条 事業者は、令第13条第28号のエレベーターを設置した後、1年以内ごとに1回、定期、当該エレベーターについて、自主検査を行わなければならない。ただし、1年をこえる期間使用しない当該エレベーターの当該使用しない期間においては、この限りでない。 2 事業者は、前項のただし書のエレベーターについては、その使用を再び開始する際に、自主検査を行わなければならない。
9	性能検査		(性能検査) 第24条 ゴンドラに係る性能検査においては、ゴンドラの各部分の構造及び機能について点検を行うほか、荷重試験を行うものとする。 2 第4条3項の規定は、前項の荷重試験について準用する。	(性能検査) 第159条 エレベーターに係る性能検査においては、エレベーター各部分の構造及び機能について点検を行うほか、荷重試験を行うものとする。 2 前項の荷重試験は、エレベーターに積載荷重に相当する荷重の荷をのせて、昇降の作動を定格速度で行うものとする。

添付資料 2 に参考として、建設用エレベーター・ゴンドラ設備の特定自主検査計画書の例を示す。

(8) ワイヤーロープの管理

ワイヤーロープは、使用条件や日常管理の仕方によっては、最も損耗が激しく、寿命もまちまちとなる。したがって、その使用に当たっては管理と検査が重要であり、ひとたび損傷を見落とすと、ワイヤーロープの切断事故を引き起こし、重大災害になる危険がある。その観点から法規上の管理基準を示すとともに、立坑施工で実施されている管理の例を述べる。

(a) エレベーター構造規格

エレベーター構造規格では、ワイヤーロープは以下のように規定されている。

第 40 条 ワイヤーロープは、次に定めるところによるものでなければならない。

- 1) 安全率は、表 5.1.2-9 の左欄に掲げるワイヤーロープの種類に応じて、それぞれの右欄に掲げる値以上であること

表 5.1.2-9 ワイヤーロープの安全率

ワイヤーロープの種類	値
巻上用ワイヤーロープ	10.0
ガイドロープ	4.0

- 2) 1 よりの間において、素線(フィラー線を除く。以下この号において同じ)の 10^o-セント以上の素線が切断していないこと
- 3) 直径の減少が、公称径の 7^o-セント以下であること
- 4) キンクしていないこと
- 5) 著しい形崩れ及び腐食がないこと
- 6) 巻上用ワイヤーロープにあっては、次に定めるところによること
 - イ. 日本工業規格 G3525(ワイヤ-ロープ)に適合するワイヤーロープ又はこれと同等以上の性能を有するワイヤーロープであること
 - ロ. 直径は、公称径が 10 ミリメートル以上であること
 - ハ. 1 搬器につき 3 本(間接式油圧エレベーター又は巻胴式エレベーターにあっては、2 本)以上であること
- 7) 巻胴式エレベーターの巻上用ワイヤーロープにあっては、搬器の位置が最も低くなる場合において、巻上機のドラムに 2 巻き以上残る長さであること

2項 前項第1号の安全率は、ワイヤーロープの切断荷重の値を、当該ワイヤーロープに掛かる荷重の最大の値で除して得た値とする。この場合において、巻上用ワイヤーロープについては、その自重(当該エレベーターの揚程が50メートルを超える場合における巻上用ワイヤーロープの自重を除く)、及びこれが通るシーブの抵抗がないものとして計算を行うものとする。

(b) エレベーター構造規格の適用除外申請事項(ワイヤーロープ)

i) 関係条項

40条第1項 6).イ 日本工業規格 G3525(ワイヤ-ロープ)に適合する

40条第1項 6).ハ 1搬器につき3本(巻胴式エレベーターにあっては、2本)であること

ii) 基収2896号での適用除外内容

巻上ワイヤーロープの種類及び搬器のワイヤーロープ数は規格により難しいので、次の措置を講ずる

- ①安全率を大きくとる。(人の場合20とする)
- ②ワイヤーロープの摩耗、腐食、素線の切断等の損傷状況をロープテスターによって定期的に点検する。
- ③毎日、使用前にワイヤーロープ及び各シーブ取付部の点検を行う。
- ④ワイヤーロープは非自転性のものを使用する。

(c) キブル巻上機用ワイヤーロープの管理(ずり搬出用)

i) 立坑掘削中の安全点検及び実施時期

最近の道路トンネル換気立坑における管理例を、表5.1.2-10に示す。

表5.1.2-10 道路トンネル換気立坑におけるワイヤーロープの管理例

NO	安全点検名称	内 容
1	日常点検	作業前に毎日点検する。
2	月例自主検査	1ヶ月毎にロープ径等の測定をする。
3	コース元切詰	3ヶ月毎に10m位ロープを切詰める。
4	確性試験	切詰めたロープを試験する。
5	ロープテスター	6ヶ月毎に素線切れの有無を試験する。

ii) 日常点検(日本クレーン協会規格を参考)

保守は、ロープを安全かつ経済的に使用するために行われるものであるため、慎重

に実施しなければならない。

- ①ロープは常に塵埃、砂粒等を除去し、清浄な状態に保持する。
- ②ロープは、常にロープ潤滑剤(ロープグリスなど、以下同じ)が適量塗布された状態に保持する。
- ③補給するロープ潤滑剤は、既塗布のものと同系統のものとする。
- ④ロープ末端部は、雨水が浸入しないように保護する。
- ⑤ロープの末端部に異常が認められた場合は、コース元の切詰めを行う。
- ⑥ロープの巻胴側固定部にゆるみが認められたら、直ちに締直しを行う。
- ⑦ロープの乱巻や段替り部における綱打ちが認められたら直ちに補修する。
- ⑧次のような、形くずれがないか点検する。

(a) キンクしたもの

(b) うねりの幅が公称径 d の 25 倍以内の区間において、 $3/4d$ 以上になったもの。

(c) 局所的な押しつぶしにより、扁平化し、最小径が最大径の $2/3d$ 以上になったもの

(d) 心綱または鋼心がはみ出したもの

(e) 著しい曲がりがあるもの

(f) かご状になったもの

(f) ストランドが落ち込んだもの

(g) 1 本以上のストランドがゆるんだもの

(h) 素線が著しくとび出したもの

iii) 月例自主検査

- ① 日常検査項目を行う。
- ② ロープ径の計測を行う。
- ③ 断線・摩耗・腐食・形くずれなど、ロープの損傷の有無を確認する。

iv) コース元切詰め

以下の理由で3ヶ月毎にコース元の切詰めを実施する。

ロープを長期使用していると、荷重の変化、衝撃、振動などのためロープ取付部は素線の摩耗や断線がなくても疲労して弱くなる。また、ドラムやシーブに接するところは摩耗、断線、つぶれなどの傷みが起こりやすい。このため、端部を若干切詰めることにより最も損傷しやすい位置を変えることは、寿命が延び経済的である

だけでなく、安全面からも大切なことである。立坑掘削中のキブルロープは、ずりキブルの転倒やライダー受け部の面圧により、コース元における曲がり、繰返し荷重による疲労は避け難い現象である。

「ロープマン必携(鉱業労働災害防止協会)」によると、ロープの使用頻度や検査の周期などにもよるが、コース元の切断事故は6ヶ月切詰めせずに使用したものに多く、6ヶ月以内で定期的に切詰めを行っている現場は少ない。3ヶ月以内のものはほとんど発生していない、と記述されている。

v) 確性試験

コース元切詰め時(3ヶ月毎)に切断したロープの確性試験を行う。

7) 概要

使用後ワイヤーロープについて確性試験を実施し、この試験結果とワイヤーロープ新品時のJIS規格及びワイヤーロープの交換基準をもとに、取替え時期の目安について総合的に判定する。

1) 確性試験の内容

(a) 外観試験

- ①ワイヤーロープ外面の塗油と腐食の状況
- ②ワイヤーロープの外接面の摩耗状況
- ③ワイヤーロープ外面の断線状況
- ④ワイヤーロープ内部の塗油と腐食の状況
- ⑤ストランド間の圧痕状況
- ⑥ワイヤーロープ内部の切断状況
- ⑦心の塗油状況
- ⑧心の損傷状況

(b) ロープ試験

- ①ロープ径測定
- ②ロープピッチ測定
- ③ロープ切断荷重の測定
- ④切断時の伸び測定

(c) 素線試験(試験本数: JIS規格を原則とする)

- ①素線径測定

- ②ワイヤ切断荷重測定
- ③ねじり回数測定
- ④巻解試験
- ⑤亜鉛付着量測定(めっきロープの場合)

り) 確性試験の方法

(a) 外観試験

①ロープ外面の塗油と腐食の状況

試料の表面の塗油量を目視にて判定する。その後表面の塗油を除去して、表面の腐食の程度を目視にて判定する。

②ワイヤーロープ外接面の摩耗状況

表面の塗油を除去した部分について、全周の摩耗程度について目視にて判定する。

③ワイヤーロープ外面の断線状況

試料全長について断線の有無及びその発生状況を調査する。

④ワイヤーロープ内部の塗油と腐食の状況

ワイヤーロープをストランドにばらして内部の塗油と腐食の程度を目視にて判定する。

⑤ストランド間の圧痕状況

ストランドにばらした状態で、ストランド間に発生した圧痕の程度を目視にて判定する。

⑥ワイヤーロープ内部の断線状況

ワイヤーロープ及びストランド内部の断線の有無を調査する。

⑦心の塗油状況

ワイヤーロープ内部の心を取り出し、塗油量を目視にて判定する。

⑧心の損傷状況

心をばらして、その損傷状況を目視にて判定する。

(b) ロープ試験

①ロープ径測定

テストピースの任意の点2ヶ所について、それぞれ3方向をノギスで測定し、その平均値をロープ径とする。

②ロープピッチ測定

ロープピッチをスケールにて3～5ピッチ測定し、その平均値をロープピッチとする。

③ロープ切断荷重測定

テストピースの両端を合金で円錐形に固めて、公的機関の検定を受けた引張試験機に装着する。これを切断するまで徐々に引っ張り、そのときの切断荷重を測定する。

④切断時の伸び測定

テストピースに伸び測定用の鋼棒を2ヶ所に取り付け、この鋼棒に極細のワイヤを回して、このワイヤを試験機にセットして引張試験時に「荷重－伸び曲線」を描き、このグラフより切断時の伸びを求める。

(c) 素線試験

①素線径測定

引張試験用に真っ直ぐに伸ばした試料の線径を、マイクロメーターにて測定する。

②ワイヤの切断荷重測定

真っ直ぐに伸ばした素線を、公的機関の検定を受けた引張試験機に取り付け切断するまで徐々に引っ張り切断荷重を測定する。

③ねじり回数測定

真っ直ぐに伸ばした素線を、公称線径の100倍の間隔で掴み、片側を回転させて切断したときの回数を測定する。

④巻解試験

試験片と同一径の心金に8回密接して巻き付け、更にこれを巻き戻して切断の有無を調べる。

⑤亜鉛付着量測定(めっきロープの場合)

めっきが付いた時の重量と、塩酸でめっきを落とした時の重量を測定し、亜鉛付着量を求める。

I) 新品時の規格(J I S規格及びメーカー規格)

(a) 外観

ロープは全長を通じ使用上有害なつぶれ、きずなどの欠点があってはならない。

(b) ロープ

- ①ロープ径の許容差は、径 10mm 未満は+10%～0%、径 10mm 以上は+7%～0%とする。
- ②ロープピッチは(メーカー)社内規格を標準とする。
- ③切断荷重は J I S 規格または(メーカー)規格以上とする。

(c) 素線

径の許容差・切断荷重・ねじり回数・巻解試験・最小亜鉛付着量は J I S 規格通りとする。

わ) 確性試験結果の判定方法

(a) 塗油及び腐食

塗油が固形化していたり、消失しているものは、定期的補給塗油が必要となる。

(b) 断線

10%断線に至っていなくても、局部的に断線が集中して5%程度発生したもののや、疲労断線が漸増し始めたものは廃棄の対象とする。

ロープ内部に断線が1本でも発生したものは、交換時期を早める。

(c) 摩耗

外接面の摩耗が進行して、隣接の素線摩耗面がとなりあったものは取替えの目安となる。

(d) ロープ径

ロープ径が公称径の7%以上減少したものは廃棄の対象とする。

(e) 切断荷重

新品時の実際切断荷重は、規格値より5%～10%アップしているのに、規格値から5%～10%減少したものが取替えの目安となる。

(f) 切断時の伸び

伸びが減少すると衝撃エネルギーの吸収ができなくなるので下記の値の前後が取替えの目安となる。

麻心入りロープ	: 2.2%	} メーカー設定値
IWRC 入りロープ	: 2.0%	
鉾山施設必携	: 2.0%	(人を運搬する巻上装置に使用するワイヤーロープの更新基準)

(g)ねじり回数

最外層線のねじり回数で一桁になったものが半数程度になれば取替えが必要となる。一桁のものがほとんどになれば取替時期を早める。

(h)巻解試験

巻解不良(巻き付け、巻き戻しまでの間に切断したもの)の素線が多数を占めたものは取替時期となる。

か)ワイヤーロープテスター

エレベータ構造規格の基収 2896 号(昭 47. 8. 1)適用除外の措置として、定期定期的にロープテスタによる点検を行うことになっている。最近のトンネルの換気立坑施工では、6ヶ月毎に実施された。

(a)概要

ロープテスターは、ワイヤーロープの素線断線等の損傷を検出し、記録することに使用する。ワイヤーロープを磁化する磁化器、損傷部を検知するプローブ及び信号処理を行う制御器で構成されている。

磁化器には、高性能な希土類永久磁石を使用しており、内部にプローブを組み込み、一体構成の検出器となっている。検出器は二つ割りになっていて、ワイヤーロープに着脱できるようになっている。検出結果を記録するには、記録計を接続することによって、保存用の記録データが得られる。

(b)原理

検出器に内蔵した永久磁石によりワイヤーロープを強く磁化させる。この時、ワイヤーロープに素線断線や局所的な摩耗があると漏洩磁束量が変化する。ワイヤーロープが移動し損傷部が検出器中央に位置するプローブを通過するとき、この漏洩磁束とプローブ内の検出コイルが鎖交し、コイル誘導電圧が変化する。この誘導電圧を信号処理し、検出信号として出力している。

プローブ内の検出コイルは上下各々2組配置しており、その差動信号を取ることにより、S/N比が大きく、高感度になっている。一般に、素線断線が大きい程、漏洩磁束の変化も大きいので検出信号電圧が大きくなる。

添付資料3に、太平洋炭礦(株)釧路鉱業所における巻揚機ワイヤーロープの維持管理に関する規制と、近年導入したワイヤーロープ連続監視システムの概要を示す。

5.1.3 換気設備

(1) 換気設備の仕様

「地下施設の設計研究 平成10年度」報告書によると、換気方式は、ループを形成できる主立坑→坑道→換気立坑にかけては、施工終了後に坑道換気とし、また、循環していない水平坑道は、風管で換気を行うこととしている。

超深地層研究所の地下施設は、現段階でレイアウトが未確定のため、施設のレイアウト変更の自由度をもたせるために余裕のある換気計画をしており、各種の換気ファンのうち、条件を満たすものの一例として、表5.1.3-1に示す換気ファンを選定している。

表5.1.3-1 換気ファンの仕様の例（坑道換気用）

仕様	FA-2000
最大風量	2100m ³ /min
最大静圧	30mmAq
動力	11KW, 200V
口径	φ1800
制御盤	インバータ、スケジュール運転

また、風管換気部に必要な換気ファンは、スパイラル風管φ450mm 使用として、各種の換気ファンの中から一例として、表5.1.3-2に示す換気ファンを選定している。

表5.1.3-2 換気ファンの仕様の例（風管換気用）

仕様	PF-40SW5.5
風量	150m ³ /min
風圧	250mmAg
口径	φ400

(2) 維持管理に関する労働安全衛生法関連の規定

労働安全衛生法は、労働災害防止のため総合的かつ計画的な対策を推進することにより、職場における労働者の安全と健康の確保、及び快適な職場環境形成の促進を図ることを目的としている。

換気設備、空調（冷房）設備等に関連するものとしては、同法の第4章（労働者の危険又は健康障害を防止するための措置）で、事業者の講ずべき措置等として以下を規定している。

- ・第20条（健康障害防止措置）

- 1 機械、器具その他の設備による危険
- 2 爆発性の物、発火性の物、引火性の物等による危険
- 3 電気、熱その他のエネルギーによる危険
- ・第21条（掘削、採石等の業務での危険防止措置）
- ・第22条（健康障害防止措置）
 - 1 原材料、ガス、蒸気、粉じん、酸素欠乏空気、病原体等による健康障害
 - 2 放射線、高温、低温、超音波、振動、異常気圧等による健康障害
 - 3 計器監視、精密工作等による健康障害
 - 4 排気、廃液又は残さい等による健康障害
- ・第23条（建設物等についての必要な措置）

事業者は労働者を就業させる建設物その他の作業場について、通路、床面、階段等の保全並びに換気、採光、照明、保温、防湿、休養、避難及び清潔に必要な措置その他労働者の健康、風紀及び生命の保持のため必要な措置を講じなければならない。

労働安全衛生法施行令では第21条で、作業環境測定を行うべき作業場の一つとして「坑内の作業場で、労働省令で定めるもの」を規定している。さらに、労働安全衛生規則では第3編（衛生基準）で以下のように定めている。

- ・気積及び換気

第601条（換気）、602条（坑内の通気設備）、603条（坑内の通気量の測定）
通気量の測定を半月以内ごとに1回、定期に行う（603条）。

- ・採光及び照明

照明設備について、6月以内ごとに1回、定期に点検する（605条）。

- ・温度及び湿度

坑内の気温を37度以下にする（611条）。

坑内の気温測定を半月以内ごとに1回、定期に測定する（612条）。

労働安全衛生法、同規則等には、換気設備等そのものの点検や検査方法について規定している条文はない。

労働安全衛生法施行令第21条で規定している作業環境測定を行うべき作業場の種類と測定項目、測定頻度を表5.1.3-3に、労働安全衛生法の事務所衛生基準規則を表5.1.3-4に示す。

表 5. 1. 3 - 3 作業環境測定を行うべき作業場（労働安全衛生法施行令第21条）

作業場の種類 (労働安全衛生法施行令第21条)		関連規則	測定項目	測定回数	記録の 保存年
○1	土石、岩石、鉱物、金属または炭素の粉じんを著しく発散する屋内作業場	粉じん則26条	空気中の粉じん濃度遊離けい酸含有率	6月以内ごとに1回	7
2	暑熱、寒冷または多湿の屋内作業場	安衛則607条	気温、湿度、ふく射熱	半月以内ごとに1回	3
3	著しい騒音を発する屋内作業場	安衛則590条 591条	等価騒音レベル	6月以内ごとに1回 (注1)	3
4	坑内作業場 (1) 炭酸ガスの停滞場所	安衛則592条	空気中の炭酸ガス濃度	1月以内ごとに1回	3
	(2) 通気設備のある坑内	603条	通気量	半月以内ごとに1回	3
	(3) 28℃以上の場所	612条	気温	半月以内ごとに1回	3
5	中央管理方式の空気調和設備を設けている建築物の室で、事務所の用に供されるもの	事務所則7条	空気中の一酸化炭素および炭酸ガスの含有率、室温および外気温、相対湿度	2月以内ごとに1回	3
6	放射性業務を行う作業所 (1) 放射線業務を行う管理区域	電離則54条	外部放射線による線量当量率	1月以内ごとに1回(注2)	5
	(2) 放射性物質取扱室	55条	空気中の放射性物質の濃度	1月以内ごとに1回	5
	(3) 坑内核原料物質採掘場所				
○7	第1類もしくは第2類の特定化学物質を製造し、または取り扱う屋内作業場	特化則36条	空気中の第1類物質または第2類物質の濃度	6月以内ごとに1回	3 特別管理物質については30年間
○8	粉状または熔融鉛を取り扱う屋内作業場	鉛則52条	空気中の鉛濃度	1年以内ごとに1回	3
※9	酸素欠乏危険場所において作業を行う場合の当該作業場	酸欠則3条	空気中の酸素濃度(硫化水素発生危険場所の場合は同時に硫化水素濃度)	その日の作業を開始する前	3
○10	有機溶剤を製造し、または取り扱う屋内作業場	有機則28条	空気中の有機溶剤濃度	6月以内ごとに1回	3

作業場の種類の欄に○印を付した作業場は指定作業場であり、測定は作業環境測定士または作業環境測定機関が行わなければならない。

また、※印を付した作業所の測定は酸素欠乏危険作業主任者に行わせること。

(注) 1 施設、設備、作業工程または作業方法を変更した場合には、遅滞なく測定する。

2 放射線装置を固定して使用する場合において使用の方法および遮へい物の位置が一定している時、または3.7ギガベクレル以下の放射性物質を装備している機器を使用するときは6月以内ごとに1回。

表 5.1.3-4 事務所衛生基準規則（労働安全衛生法）（1/2）

項 目		基 準		備 考				
事 務 室 の 環 境 管 理	空 気 環 境	気 積		10m ³ /人以上とすること	定員により計算すること			
		窓その他の開口部		最大開放部分の面積が常時床面積の1/20以上とすること	1/20未満のとき換気設備を設けること			
		室内空 気環境 基準	一酸化炭素		50ppm以下とすること	検知管等により測定すること		
			炭酸ガス		0.5%以下 "	"		
		温度	10℃以下のとき		暖房等の措置を行うこと			
			冷房実施のとき		外気温より著しく低くしないこと	外気温との差は7℃以内とすること		
		中央管理方式による場合	供給空気 の清 浄度	浮遊粉じん 量(約10マ イクロメー トル以下)	0.15mg/m ³ 以下とすること	デジタル粉じん計,ろ紙じん あい計等により測定すること	吹出口 等で測 定する こと	
				一酸化炭素		10ppm以下 "		検知管等により測定すること
				炭酸ガス		0.1%以下 "		"
			室内空 気環境 基準	気流		0.5m/s 以下 "	0.2m/s 以上の測定可能な風速計により測定すること	
	室温			17℃以上28℃以下になるように努めること	0.5度目盛の温度計により測定すること			
	相対湿度			40%以上70%以下 "	0.5度目盛の乾湿球温度計（アウグスト乾湿計,アスマン通風乾湿計）			
	測定		2月以内ごとに1回定期的に行うこと		結果を記録し,3年間保存すること			
	機械換気設備		供給空気 の清 浄度	浮遊粉じん	0.15mg/m ³ 以下とすること	空気調和設備の場合と同様		
		一酸化炭素		10ppm以下 "				
		炭酸ガス		0.1%以下 "				
		室の気流		0.5m/s 以下 "				
	燃焼器具	室等の換気		排気筒,換気扇,その他の換気設備を設けること				
		器具の点検		異常の有無の日常点検を行うこと				
		室内空 気環境 基準	一酸化炭素		50ppm以下とすること	検知管等により測定すること		
炭酸ガス			0.5%以下 "	"				
機械による換気のための設備点検		初めて使用するとき,分解して改造,修理の際および2月以内ごとに1回定期的に行うこと		結果を記録し,3年間保存すること				
採光・照明	照 度	精密な作業	300ルクス以上とすること					
		普通の作業	150ルクス以上 "					
		粗な作業	70ルクス以上 "					
	採光・照明の方法		①明暗の対照を少なくすること(局所照明と全般照明を併用)		局所照明に対する全般照明の比は約1/10以上が望ましい			
			②まぶしさをなくすこと		光源と眼とを結ぶ線と視線とがなす角度は30度以上が望ましい			
照明設備の点検		6月以内ごとに1回定期的に行うこと						

表5.1.3-4 事務所衛生基準規則（労働安全衛生法）（2/2）

項 目		基 準	備 考	
騒音伝ばの防止	カードせん孔機，タイプライター等の事務用機器を，5台以上集中して作業を行わせる場合	①作業室を専用室とすること		
		②専用室はしゃ音及び吸音の機能をもつ隔壁とすること		
清	水質基準		水道法第4条に規定する水質基準に適合すること 地方公共団体等の行う検査によること	
	給水	通常	遊離残留塩素の場合0.1ppm以上とすること	
			結合残留塩素の場合0.4ppm "	
		汚染等の場合	遊離残留塩素の場合0.2ppm "	
			結合残留塩素の場合1.5ppm "	
	排水設備		汚水の漏出防止のため補修およびそうじを行うこと	
	清掃およびねずみ，こん虫等の防除		6月以内ごとに1回定期に行うこと	統一的に行うこと
	廃棄物		労働者は，廃棄物を一定の場所にすてること	
	潔所	区 別	男性用と女性用に分けること	清潔に保ち，汚物を適当に処理すること
		男性用大便所	60人以内ごとに1個以上とすること	
男性用小便所		30人以内ごとに1個以上とすること		
女性用便所		20人以内ごとに1個以上とすること		
便 池		汚物が土中に浸透しない構造とすること		
手洗い設備		流出する清浄な水を十分に供給すること		
洗 面		洗面設備を設けること		
被服汚染の作業		更衣設備を設けること		
被服湿潤の作業		衣服の乾燥設備を設けること		
休養	休 憩		休憩の設備を設けるよう努めること	
	夜間の睡眠，仮眠		睡眠または仮眠の設備を設けること 男性用，女性用に区別すること	
	50人以上または女性30人以上		休養室または休養所を設備を設けること 男性用，女性用に区別すること	
	持続的立業		いすを備え付けること	
救急用具の備付け		負傷者の手当てに必要な用具，材料を備え付けること	備え付け場所及び使用方法を周知すること	

(注) 事務所換気設備設置届に関する規定については，平成6年7月1日より，本規則から労働安全衛生規則へ統合された。

(3) 維持管理の方法

送排風機（換気ファン）は軸の方向、電動機の設置位置、駆動方法によって異なるほか、動翼可変式と固定式によっても維持管理の内容に違いがある。基本的には羽根車、ケーシング（含静翼）、電動機より構成されているが、構造により主軸、中間軸、カップリング、減速機、動翼可変機構も必要になる。

(a) 点検要領

換気設備における各機器の点検作業に当たって、その設備の特殊性、点検の重要性などについて留意事項を以下に述べる。

換気機は、監視制御施設、及び計測関連機器と連動して自動運転を行っている。点検に当たっては、換気施設自体の機能を保持するほかに、定期的に関連機器も合わせた総合動作の確認をする必要がある。また点検に際し、高圧電源の入切り、ダクト点検時の送排風機停止、及び運転中に点検するもの、停止中に点検するものなどを考慮し実施することが必要である。なお、日常点検では換気機の騒音、振動等の異常に留意することが重要である。また、坑内に複数台設置されている換気機の点検を行う場合は、坑内の換気運用に支障を来さないよう、計画的に実施することが重要である。

計測関連機器は、換気機と連動してそれらの運転・停止制御を行っており、その機能が失われないよう十分な点検を行うことが大切である。

(b) 点検項目

換気設備のうち、送風機の維持管理に関する点検項目・内容の例を以下に示す。

i) 全般

- ① 外観点検により、外観等に異常がないか確認する（損傷、発錆）。また、異常な汚れの有無を調べる。
- ② 運転状態における異常を調べる（騒音、振動、温度、圧力、回転）。

ii) ケーシング

- ① 異物の有無を調べる。
- ② 変形の有無を調べる。
- ③ 取付け状態の確認をする。

iii) 羽根車

- ① 翼面の損傷、変形の有無を調べる。

- ② 回転状態を確認する。
- ③ 動翼の可変作動、角度を確認する。
- ④ チップクリアランスを確認する。

iv) 駆動軸（中間軸、軸受、軸継手）

- ① 腐食、損傷、摩耗を調べる。
- ② 油脂量、油漏れを確認する。
- ③ 振動、軸受の温度を確認する。

v) 減速機

- ① 油濾過器、油冷却器、油配管の油漏れ、目詰りを確認する。
- ② 潤滑油の油量、油質を確認する。
- ③ 油冷却器のファンベルトの状態を確認する。
- ④ 振動、異音、温度、圧力の状態を確認する。

vi) 電動機

- ① フレーム、端子等の損傷、変形、緩みの有無を調べる。
- ② 運転状態（電流、電圧、温度、油量、回転数）を確認する。
- ③ 振動、異音の有無を確認する。
- ④ アース接続部の接地線の接続状態を確認する。

vii) ダンパ

- ① 駆動機、ケーシングダンパ翼、リンク、アーム等の損傷、変形、緩みの有無を調べる。
- ② 開閉操作、開度状態を確認する。
- ③ 振動、異音の異常を確認する。

viii) 給油装置

- ① 油量、油圧、油温、油質、油漏れを確認する。
- ② バルブ、スイッチ類の異常の有無を確認する。
- ③ ドレーンの水抜き、ストレーナの目詰りを確認する。
- ④ 異音の有無を確認する。

ix) ベルマウス・異形管・伸縮管

- ① 異物の有無を調べる。
- ② 損傷、変形の有無を調べる。

③ 取付け状態を確認する。

④ 塗装のはがれを調べる。

x) 換気ダクト

① 鋼板ダクト、コーナーベーン、スロット調整板の損傷、変形、取付状態を確認する。

② シャッタの開閉操作、駆動装置の確認をする。

③ 異物の有無を調べる。

④ 塗装のはがれの有無を調べる。

5.1.4 空調設備

(1) 空調設備の仕様

地下施設は、1,000mに及ぶ大深度の施設であり、深度とともに岩盤温度が高くなり坑内温度が上昇する。このため、空気を冷却して坑内温度を28℃以下に保つ空調設備を設置する。

空調設備は、地下 1,000mレベルの水平坑道に冷房用のクーリングシステムを設置し、発生熱を流体とともに坑外へ排出するシステムを採用する。空調設備の仕様を表 5.1.4-1 に示す（「地下施設の設計研究 平成10年度」より）。

表 5.1.4-1 空調設備の仕様

設備	名称	仕様
クーリングシステム	チラーユニット	CU2000、電力:8.3kW
	ファンコイルユニット	CUF70S、電力:7.5kW
	コントロールパネル	インバーター制御
坑外設備	冷却塔	80T、動力:1000W
	冷水配管	4B、断熱材被覆

(2) 維持管理の方法

地下 1,000mレベル水平坑道における坑内の労働環境を快適に保持するために、以下に述べる具体的な方法、内容で運転、保守、点検、計測、整備及び修理等の維持管理を行うのが望ましい。

維持管理の内容としては、図 5.1.4-1 に示すような項目があげられる。

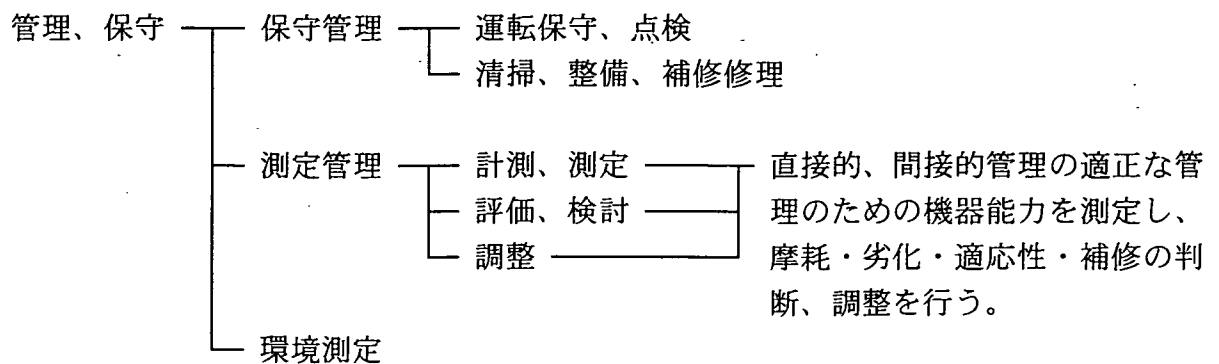


図 5.1.4-1 維持管理、保守、記録の内容

維持管理作業の内容、留意点について以下に述べる。

(a) 計画表の作成

以下の項目の計画表を作成し、記録することにより、責任、設備の現状の明確化を図る。

担当者、作業区分、作業周期、数量、作業時間、作業の種別、
機器・装置別の作業内容

(b) 日常点検

i) 日常点検、整備、記録の必要性

日常的に運転されている設備機器装置は、使用状態により消耗、劣化を生ずる。これを確認、整備、記録する。

ii) 適正な使用

機器の常用使用範囲、限界点、保護装置の設定点を確認する。

iii) 方法

始業点検、終業点検、稼働点検等に分類されるが、目視または接触点検により消耗、ゆるみ度合い、振動、温度、漏れ、汚れなど、周囲、外的条件の影響（腐食等）状態を調べる。

(c) 定期点検と計測

定期点検項目は日常点検と同じとするが、計測器の客観的数値を得て日常点検結果と照合し、機器の能力、状態を判断して対処する。また、機器の能力を測定し、標準能力との照合を行う。

(d) 運転休止前の検査、運転開始前の検査整備の必要性

空調設備を長期にわたって休止する場合、休止の前後にはメーカーの取扱説明書に基づいて、冷凍機、ボイラ等の検査、整備を行う。

一般的な空調設備の主要な機器及び装置の維持管理作業内容の例を、表 5.1.4-2 に示す。

表 5.1.4-2 空調設備の主要機器、装置の維持管理作業内容の例

設備種別	日常管理作業	定期・不定期その他の作業
1. 監視盤室	<ul style="list-style-type: none"> ・機器の運転状態の監視、中央管制 ・温・湿度調整指示 ・室内環境測定（温・湿度、気流、風量）計測記録 ・各種水槽水位監視 	<ul style="list-style-type: none"> ・機器台帳その他書類資料の作成 ・点検、調整、清掃 ・災害、傷害発生時対策及び措置 ・突発停電時の緊急措置及び復旧作業
2. 冷凍機設備	<ul style="list-style-type: none"> ・起動前の点検、確認 ・冷却水ポンプ運転（冷凍機） ・冷却塔送風機運転 ・冷水ポンプ運転（冷凍機） ・冷凍機運転、定格電流確認 ・冷媒圧力、冷凍負荷監視 ・機器運転状態点検、停止 ・運転停止後の点検、異常の有無確認 ・冷凍機室清掃、運転日誌作製 	<ul style="list-style-type: none"> ・休止中の冷凍機の定期手入れ ・冷媒充てんおよび回収 ・蒸発器、凝縮器の洗浄、防錆防食 ・油冷却器の分解、手入れ、清掃 ・保安装置の点検 ・冷媒回収装置の分解、手入れ、整備 ・冷却水、冷水ポンプの整備 ・冷凍機のオーバーホール
3. 冷却塔設備	<ul style="list-style-type: none"> ・運転状態の巡回点検、手入れ ・散水状態、充てん材点検、修理 ・補給水フロート弁の点検 	<ul style="list-style-type: none"> ・送風機の点検、手入れ、整備 ・定期清掃（冷却塔ケーシング、集水水槽内部、外部漏水、腐食箇所散水処理など） ・送風機のオーバーホール ・長期間運転休止に対する処置 ・シーズン前、シーズンオフの点検、整備
4. 空調設備 (送風機、排風機を含む)	<ul style="list-style-type: none"> ・エアフィルタ、送風機運転、電流確認 ・自動制御盤の監視 ・送気還気温、湿度計測、記録、監視 ・空気清浄器、冷温水コイルの点検 ・運転停止後の点検、確認 ・機器の点検・手入れ 	<ul style="list-style-type: none"> ・Vベルト点検調整、交換、軸受取替え ・フィルタ交換、洗浄、清掃 ・集じんユニット洗浄、清掃 ・空調装置機器の整備清掃 ・耐用性診断の定期点検（月間作業、年間作業）

5.1.5 給水設備

(1) 給水設備の仕様

「地下施設の設計研究 平成10年度」より、立坑内に設置される給水設備は表5.1.5-1のとおりである。

表5.1.5-1 立坑内に設置される給水設備

名 称	仕 様	用 途
配管	2 B	給水用（上水用） 1 系統
減圧バルブ	2 B、1 MPa	
スルースバルブ	2 B	
分岐管	2 B	
配管	4 B	工事用（中水用） 冷却用（中水用） 各 1 系統
減圧バルブ	4 B、1 MPa	
スルースバルブ	4 B	
分岐管	4 B	

(2) 維持管理の方法

立坑内に設置する減圧バルブ、スルースバルブは、維持管理し易い予備ステージ及び中間ステージ内に設置し、配管は坑壁に確実に固定しなければならない。また、使用水は減圧バルブのトラブルを防ぐために、異物の混入のないように維持管理しなければならない。

立坑内における給水設備の維持管理としては、以下の箇所の点検が必要である。

① 貯水槽内の点検・清掃

・槽内の砂、落ち葉等異物の撤去

② 減圧バルブの点検・清掃

・減圧バルブ上下に圧力計を取り付け圧力管理を行い、圧力に異常があれば減圧バルブを分解清掃または交換する。

③ ストレーナーの点検・清掃

・適時ストレーナーのフィルターの清掃

④ 配管接続箇所からの漏水

⑤ 特に配管延長接続時は異物の混入のないように注意を払う。

5.1.6 排水設備

排水設備は立坑においては重要な設備である。鉱山における排水設備に関する保安規則及び保安規程は 4.3 において記載したとおりである。一方、労働安全衛生法、同規則等には、排水設備、排水ポンプ等の点検や検査に関して規定している条文はない。

主立坑、換気立坑とも、排水設備は故障時に対応するために2系統を設置し、1系統は予備とする。管理者を定め各系統を交互に使用し、排水ポンプ等の点検・整備を行い維持管理に努める。また故障時の連絡網及び対処方法をあらかじめ定め、速やかに対応できるようにする。

(1) 点検方法

- ① 排水管は巡回時点検を行い、漏水等があれば修理を行う。
- ② 中継槽は巡回時点検を行い、土砂・異物等がポンプのストレーナーに詰まっていな
いか点検を行う。沈殿槽に土砂等が溜まってきていれば適時土砂を取り除く。
- ③ 逆止弁は原則として2ヶ月に1度分解点検を行う。
- ④ 操作盤の電流値の点検を行い、異常があればポンプの点検を行う。
- ⑤ 排水ポンプは予備ステージ及び中間ステージで可能な修理整備は行うが、修理がで
きない場合はポンプ本体を交換し、坑外にて修理整備を行う。
- ⑥ ウォーターリング部は発破後に点検・清掃を行う。

(2) 排水ポンプ使用上の一般的注意事項

- ① ポンプの定格周波数が60Hz用であることを確認する。50Hz用ポンプを60Hzで運転し
た場合、過負荷により保護装置が動作するために使用できない。
- ② ポンプは必ずアースをとること、また法令により感電防止用漏電遮断装置の取り付
けが規定されている。
- ③ ポンプは定格電流で使用する。一時的な電圧変動の許容値は、定格電圧の±10%以
内である。
- ④ ポンプの吸い込み口が土砂に埋まらないようにする。
- ⑤ 吐出用ホースはポンプ口径と同径のものを使用する。ポンプ口径より小さいホース
を使用するとホースによる損失水頭が増大し、吐出量が減少する。またポンプ径よ
り大きいホースを使用すると、ホース中に土砂がたまり、土砂詰まりの原因となる

ので注意をする。

- ⑥ 逆回転で運転しないように注意する。正回転はポンプ上部より見て右回りなので、始動の際反動で左に回るのを確認する。
- ⑦ ポンプが土砂、特にセメントを含む水を揚水したときはポンプの運転中止前、十分清水を揚水してから停止させる。これを行わないと次回ポンプを使用するとき、排水ポンプや逆止弁に土砂やセメントが詰まり使用できなくなることがある。また、管内部にセメント分が付着しこれが剥がれたとき逆止弁に掛かり異常を来たすことがあるので注意する。
- ⑧ ポンプは定期的に絶縁測定をする。1MΩ以下ではポンプを使用してはならない。絶縁抵抗の測定は動力線とアース線の間で1MΩ以上あることを確認する。アース線とポンプ本体の間で0MΩであれば良好である。

(3) セメント分混入水、土砂混入濁水に対する排水ポンプ維持対策

セメント分の混入した水や掘削に伴う土砂混入濁水を揚水する場合は、固形分の粒子径にもよるが、サクシオンパイプ先端での異物混入防止処置や、坑内で湧出する清水との混合希釈、及び前項(2)の⑦に述べたような排水ポンプの運転中止前の注意事項を遵守することにより、ポンプ維持上の問題は殆ど解消可能である。

(4) 水中ポンプの異常現象の原因と対策

図5.1.6-1 水中ポンプの異常現象の原因と対策 (1/2)

現象	原因	対策
うなり音もなく運転しない。	停電 ケーブル切断 接続不良 モータ巻線の断線 オートカット不良 ヒューズの切断	給電の手配をする 取替える 接続を完全にする 巻換え修理をする 取替える 取替える
うなり音はするが運転しない。	接続不良で単相状態 スイッチ類の接触不良で単相状態 ケーブルの1線が断線状態 ヒューズの断線で単相状態 モータ巻線1相断線 ベアリング不良で拘束 コンデンサ不良(単相、コンデンサ始動モータのみ) 遠心カススイッチ不良 オートカット不良・マグネットコンタクト不良 インペラが拘束されている 電圧低下	接続部を完全にする 接触部を調整する 取替える 取替える 巻換え修理をする 取替える 取替える 取替える 取替える 分解清掃 電源調整
運転するがすぐ止まる。	電圧低下 電源電圧の不均衡 オートカット不良 サーマルリレー調整不良 モータ巻線不良 50Hzのポンプを60Hzで運転している 揚液の粘度が高すぎる 揚液の比重が大きすぎる 揚液の温度が高すぎる 逆回転している	電源調整 電源調整 取替える 調整する 巻線修理をする インペラ交換 メーカーに相談する メーカーに相談する メーカーに相談する 相を入換える

図5.1.6-1 水中ポンプの異常現象の原因と対策 (2/2)

現象	原因	対策
揚水不足または揚水しない。	実揚程が高すぎる 損失水頭が大きすぎる 逆回転している 吐出し用ホースや配管が詰まっている インペラやケーシングの摩耗 60Hzのポンプを50Hzで運転している エアロックを起こしている 単相運転になっている ストレーナが目詰まりしている	適正なポンプを選定し交換する 適正なポンプを選定し交換する 相を入換える ホースや配管を調べて処理する 部品交換 インペラ交換 ポンプの設置状態の検討 原因を究明し処理する ストレーナを清掃する
振動が激しい。	インペラが偏摩耗している 逆回転している ベアリング不良 キャビテーションを起こしている 空気を吸いながら運転している	取替える 相を入れ換える 取替える ポンプの運転・設置方法を検討する ポンプの設置状態を検討する
起動・停止時に異常音	ウォータハンマーを起こしている	配管状態の検討
ポンプにさわると感電する。	絶縁低下	修理する

5.1.7 安全設備

(1) 坑内に設置される安全設備

安全上必要な設備のうち、坑内に設置される設備は、表5.1.7-1のとおりである（「地下施設の設計研究 平成10年度」より）。

表5.1.7-1 坑内設置の安全設備

項 目	地下施設に設ける設備
火災対策に必要な安全設備	
・坑道内の監視装置	I T V
・通信設備	携帯電話が使用できる環境
	坑内及び坑外電話 (外線に直接通話できる電話)
・消火設備	消火器、消火栓
・排煙設備は換気設備と兼用する	—
・安全区画	安全区画（固定式、移動式）
・上記各種設備の案内板	位置・ルート表示、取り扱い説明
その他の避難が必要な事態に備える安全設備	
・坑道の安定確認や出水を事前に察知するためのセンサー	—（研究面から用意）
・電源、設備類のバックアップ	—（地上設備で対応）
その他安全への配慮事項	
・地下管理センター	—（地上施設で対応）
・人間の所在管理	所在管理システム
・転落、落下、飛来対策	転落防止柵、防護ネットなど
・酸欠、有害ガス対策	感知器

(2) 維持管理に関する労働安全衛生法関連の規定

火災対策については、労働安全衛生法第20条第2項（爆発性の物、発火性の物、引火性の物等による危険）、労働安全衛生規則第4章（爆発、火災等の防止）に定められている。消火設備は第289条に、防火設備は第290条に設置が規定されているが、点検や検査方法の規定はない。消防法等で定めていると思われる。

避難のための保安設備については、労働安全衛生法第25条の2（重大事故発生時の安全確保措置）で、「建設業その他制令で定める業種に属する事業の仕事で、制令に定めるものを行う事業者は、爆発、火災等が生じたことに伴い労働者の救護に関する措置がとられる場合における労働災害の発生を防止するための措置を講じなければならない」としている。

制令で定める仕事として、労働安全衛生法施行令では、ずい道等の建設の仕事で出入口から 1,000 m以上の場所で作業を行うもの及び深さ 50 m以上となるたて坑（通路として用いるものに限る）の掘削を伴うものとしている。

(3) 維持管理の方法

安全設備は、坑内で通常稼働している他の設備と異なり、発生が予測できない火災等の事故に備えて監視あるいは待機状態を継続し、事故が発生した場合に機能が正常に作動することを要求される機器や設備である場合が多い。点検に当たっては、不具合の兆候を的確に捕らえて整備することが重要である。主な安全設備について、保守点検作業で特に留意すべき事項を以下に示す。

(a) 監視装置（I T V）

監視装置（I T V）は、カメラに撮像管を使用しているものと、CCDカメラとがある。撮像管はCDDタイプに比べて寿命が短く、長時間使用すると映像品質が低下してくるため、定期的な交換が必要である。坑内に使用されているカメラは、ほこりや排気ガスによって映像品質の低下を招きやすい。定期点検時にはカメラケースとカメラ本体のレンズの汚れを必ず清掃することが、とくに大切な作業である。

モニタテレビに録画装置を併用した装置では、磁気ヘッドの汚れが映像品質にも影響してくるため、定期点検時にヘッド部の清掃を行うことが必要である。

(b) 坑内及び坑外電話

坑内及び坑外電話は、通常時はもちろん坑内での事故や火災の発生時等非常時にも、坑内と坑外、及び外線に直接通話できる機能を保持する必要がある。外部の警察署、消防署等への緊急通話連絡手段でもあり、点検に際しては良好な通話状態を維持しておくことが重要である。

(c) 消火器

消火器の点検では、外観・機能点検及び消火薬剤劣化による詰替え等は、消防法を準用して実施することが望ましい。

(d) 消火栓

消火栓の点検では格納箱内のノズル、ホース、ホースリール、弁類等の収納状態及び損傷状態を確認すると同時に、ホースリールの円滑な回転を確認することが重要である。

また、消火栓を常時加圧している圧力水槽へ圧力を供給する加圧ポンプについても、圧力水槽の圧力低下による自動運転を確認する必要がある。

(e) 火災検知器

火災検知器の維持管理では受光窓の汚損対策が重要な項目となる。受光窓の汚損によって検出感度が低下することのないよう保守点検では清掃を定期的に行い、常に設定感度を維持できるよう保守する必要がある。

(4) 点検項目

主な安全設備の維持管理に関する点検項目・内容の例を以下に示す。

(a) 監視装置 (I T V)

i) 全般

- ① 外観構造を確認する。
- ② 電源電圧を確認する。
- ③ 据付け状態を確認する。
- ④ ケーブルの装着状態を確認する。
- ⑤ アース接続線の接続状態を確認する。

ii) テレビカメラ部

- ① 動作状況は、モニタテレビによりテレビカメラ動作を確認する。
- ② 作動試験を行い、付属品の作動を確認する。
- ③ カメラケース、レンズ汚損状態を確認する。

iii) I T V 被制御装置

- ① 映像分配部の映像レベルを確認する。
- ② 制御出力部の制御レベルを確認する。
- ③ 映像切換え部を確認する。
- ④ 映像出力レベルを確認する。
- ⑤ 制御入力部の制御レベルを確認する。

iv) モニタテレビ

- ① モニタテレビの画像を確認するとともに、ブラウン管予熱スイッチの動作を確認する。

v) 操作卓

- ① 操作卓部のすべてのスイッチの動作を確認する。
- ② 連動試験を行い、火災信号等による画面切替え操作を確認する。

vi) 録画装置

- ① 録画状況を確認する。

(b) 坑内及び坑外電話

i) 全般

- ① 外観点検により、機器外部の汚れ、損傷、発錆の有無を確認する。
- ② 機器の据付け、取付け状態を確認する。
- ③ 電話線を含む絶縁抵抗値を測定し、絶縁状態を確認する。
- ④ 表示灯、蛍光灯の点灯状態を確認する。
- ⑤ 接続ケーブル・コネクタ・端子等の断線、緩み、発熱等の有無を確認する。
- ⑥ 電話線引込み口の状態を確認する。

ii) 電話機

- ① 通話試験を行い、管理所等間との通話状態を確認する。

iii) 電話ボックス

- ① ボックス内蛍光灯の照明状態を確認する。
- ② 電話機等の機器収納状態を確認する。

(c) 消火器

i) 全般

- ① 外観点検を行い、外部の汚れ、損傷、発錆の有無を確認する。
- ② 格納箱の据付け状態を確認する。
- ③ 表示灯、蛍光灯の点灯状態を確認する。
- ④ 接続ケーブル、コネクタ、端子等の断線、緩み、発熱等有無を確認する。
- ⑤ 消火器収納数を確認する。

ii) 消火器

- ① 消火器の放射、消火試験を実施する（抜取り）。
- ② 消火器を分解して薬剤の劣化状態を確認する。

(d) 消火栓

i) 全般

- ① 外観点検を行い、外部の汚れ、損傷、発錆、配管類からの漏水の有無を確認する。

- ② 消火栓格納箱、ポンプ、ポンプ制御盤等の据付け状態を確認。
- ③ 絶縁抵抗値を確認する。
- ④ 表示灯、蛍光灯の点灯状態を確認する。
- ⑤ 接続ケーブル、コネクタ、端子等の断線、緩み、発熱等の有無を確認する。

ii) 消火栓

- ① 弁、ホースリール、ノズル、ホース等内部収納品の収納及び損傷状態を確認する。
- ② 操作試験にて、格納箱の扉を開放し、ホース引出しによる操作状況を確認する。
- ③ ポンプ起動スイッチまたは連動スイッチによるポンプ運転を確認する。
- ④ 放水試験を行い、消火栓弁開放による放水を確認する。
- ⑤ 銘板類の汚損状態を確認し、必要があれば銘板類を清掃する。

iii) ポンプ設備類

- ① ポンプ室内のポンプ設備付属弁類の開閉状態を確認する。
- ② グランドパッキンの摩耗及び漏水の有無を確認する。
- ③ 軸受けの油脂量を確認する。
- ④ 運転状態は、ポンプ設備付属の計器類により吐出圧力、流量等を確認する。
- ⑤ 圧力水槽の圧力保持状態は、圧力水槽の圧力計指示値を確認する。
- ⑥ 圧力水槽の圧力保持状態は、圧力低下時の加圧ポンプ自動運転を確認する。
- ⑦ ポンプ起動・停止等の制御試験を実施する。
- ⑧ 連動試験として、火災受信盤からの信号によるポンプ起動・停止等の制御試験を行う。

iv) 貯水槽等

- ① 水位確認は、水位電極あるいは目視により確認する。
- ② 水の汚濁状態は、貯水槽ドレン口からのサンプル採取等により調査する。
- ③ 貯水槽内の土砂堆積の有無を確認する。

(e) 火災検知器

i) 全般

- ① 外観点検を行い、機器外部の汚れ、損傷、発錆の有無を確認する。
- ② 機器の据付け、取付け状態を確認する。
- ③ 絶縁状態は、電路を含む絶縁抵抗値を測定して確認する。
- ④ 接続状態については、接続ケーブル、コネクタ、端子等の断線、緩み、発熱等の

有無を確認する。

ii) 火災検知器

- ① 受光窓の汚損状態を確認し、必要があれば受光窓の汚れを清掃する。
- ② 部品取付け状態については、受光窓、試験ランプグローブ、動作確認灯の破損、変形、脱落の有無を確認する。
- ③ 動作試験は、以下を行う。

火災受信盤試験回路による動作を確認する。

検知器テストによる動作確認を行う。

検知器テストによる動作時間を測定する（抜取り）。

(5) 坑内における危険ガス（酸欠、有害ガス）と対策

地下の研究坑道内では、地山に包蔵されている危険ガスや、工事、研究の実施に伴う危険ガスの発生が予想される。このため、あらかじめ十分な対策を立案、計画しておくことが重要である。

危険ガスへの対策としては、基本的には換気（通気）を十分に行い、危険ガス濃度を一定の管理値以下に抑えることのできる設備計画を用意しておくものとする。

超深地層研究所の地下施設においては、地山からのガス発生はないものと考えられるが、工事や研究に伴う危険ガスの発生が考えられる。

試験研究にて使用する物質による危険ガスに対しては、その特性に対応した対策を別途講じる必要がある。

ここでは建設現場に関わる危険ガスと対策処置について、（社）中央労働基準協会の「安全衛生施工基準」を表5.1.7-2に示す。

表 5.1.7-2 建設現場に関わる危険ガス（酸欠、有害ガス）と対策処置

『安全衛生施工基準（社）中央労働基準協会』

ガスの名称		メタン	一酸化炭素	炭酸ガス	二酸化窒素	酸素O ₂
		CH ₄	CO	CO ₂	NO ₂	不足
危険の種類		爆発	爆発中毒	中毒	中毒	中毒
発生の恐れのある場所		坑内 古井戸 マンホール 地下施設	坑内 不完全燃焼の場合 発破ガス 排気ガス(ディーゼル)	坑内 (石灰石, ドライ ト層) 物の燃焼 水中	発破の後ガス 排気ガス ディーゼルカ-	坑内 古井戸 マンホール 地下施設
比重		0.55	0.97	1.53	1.59	1.11
発火点℃		537	651	—	—	—
爆発 発0 限L 界%	下限	5.3	12.5	—	—	—
	上限	14	74	—	—	—
法抑 令制 上値 の*1)	%	1.5 *2)		1.5	—	18 (以上)
	ppm		100		—	
性質及び性状		可燃性, 無色, 無味, 無臭, 酸素と結合して爆発の危険性あり。呼吸困難, 睡気, 酸素欠乏の症状。	引火性, 毒性, 無刺激性, 無色, 無味, 無臭。微量で眩暈, 嘔気, 頭痛, 時間により失神, 死に至る。	不燃性, 無色, 無臭, 酸味があり, 水に溶けやすい。酸素不足を来し, 頭痛, 耳鳴, 血圧上昇, 嘔吐, 眩暈, 呼吸困難。	不燃性, 毒性, 赤褐色, 刺激性, 睡気を催し, 呼吸困難に陥る。頭痛, 眩暈, 呼吸困難。	不燃性, 無色, 18%以下の場合は灯火が消え, 呼吸困難に陥る。睡気を催し危険。
対策処置		ガス検知をし, 換気を充分にする。火気厳禁。ガスマスク使用。	ガス検知, 酸素マスク使用。換気通風し火気厳禁。	ガス検知, 酸素マスク使用。換気通風, 圧を加え送風した後は炭酸ガスの噴出に注意。	ガス検知, 発破の適切使用と排気ガス(ディーゼル)の処理, 坑内底部通風換気。	ガス検知, 酸素マスク使用。換気通風

*1) 労働安全衛生規則, 酸素欠乏症防止規則, 労働省告示等に表示された値で, 就労禁止とすべき値である。

*2) メタンの爆発限界は5~15%であり, 安全衛生規則によれば「可燃性ガスの濃度は爆発下限界の値の30%以下」と規定されているため, 便宜的に1.5%とした。

5.1.8 電気設備

坑内の電気設備はかなり劣悪な環境に置かれており、このため常に漏電、感電の危険性を持っている。また不特定多数の作業員が取り扱うことも考慮しなければならない。作業員が誤った取り扱いをしても設備面で安全側に移行する対策をとる必要がある。例えば、アースの取り付け、漏電遮断器の設置、溶接機用自動電撃防止装置の完備等である。

(1) 電気主任技術者

電気事業法では、自家用電気工作物の工事、維持及び運用に伴う危険や障害をなくし、電気の円滑な供給と安全使用を確保するために電気主任技術者を選任しなければならない。また、電気主任技術者による保安規定の作成を義務づけている。

電気主任技術者を選任する方法として、以下があげられる。

- ① 有資格者を選任する。
- ② 有資格者以外の者を選任する（許可申請を要する）。
- ③ 保安協会等外部機関に保安業務を委託契約する（契約電力300kW未満の場合）。

(2) 主任技術者の保守監督の範囲

電気主任技術者が保守の管理をすることができる範囲は、表5.1.8-1に示すとおりである。

表5.1.8-1 主任技術者の保守監督の範囲

電気主任技術者の種類	保安の監督をすることができる範囲	
	構内	構外
第一種	全般	全般
第二種	170kV未満の電気工作物	100kV未満の電気工作物
第三種	50kV "	25kV "
高圧電気工事技術者	契約電力500kW未満の電気工作物	左に同じ
電気工事士	契約電力100kW未満の電気工作物	同上
大学、高専の工学課卒業 者で電気工学の単位修得者	同上	同上

(3) トンネル坑内の電気設備

トンネル坑内は、場所が狭いため電気配線を安全な箇所へ施設することは一般に困難とされる。また、坑道内は水気、湿気も多く、充電部分に接触するときは危険も大きい。したがって、坑道内では電線は丈夫な外装を有し、かつ耐湿性のあるものの使用を原則とする。

(a) 坑内工事用電気設備

- i) 機器は、防滴構造とすること
- ii) 爆発性ガスの発生の恐れがある場合は、防爆構造とすること
- iii) 必要に応じて予備電源を設けること
- iv) 高圧幹線設備
 - ① 幹線には、高圧ケーブルを使用し、高圧の表示を行うこと
 - ② 幹線は、地表上2.5m以上の高さに配線し、支持点間隔は2m以下とすること
2.5m以上の高さが保持できない時は、⑧によること。また支持点間隔が2mを越える場合はメッセンジワイヤーを使用しケーブルハンガー（ハンガー間隔は50cm以下）にて吊架すること
 - ③ 幹線には、系統毎に地絡、過負荷を保護する遮断機を設け（地絡継電器は方向性地絡継電器が望ましい）、その機器に人が容易に触れぬよう柵を設けること
 - ④ 坑内に高圧幹線を引き込む場合は、坑口付近に開閉器を設けること
 - ⑤ 区分開閉器は300m以内毎に設けることが望ましい
 - ⑥ ケーブルの直接接続部分には、直接接続材またはスペーサ等を用いて施工すること
 - ⑦ ケーブルの末端処理剤は、屋外用を使用すること
 - ⑧ ケーブルは、必要に応じ鋼管、塩ビ管等で防護を行うこと
- v) 変電設備
 - ① 変電設備は、土砂崩壊のおそれがなく、湧水が少ない箇所に設け、肌落ち、漏水から防護すること
 - ② 変電所に使用する電線と造営材の離隔距離は、高圧絶縁電線及び高圧引下用絶縁電線の場合は15cm以上を保つこと
 - ③ 変電設備には充電標識灯を設け、かつ人が充電部分に触れぬように遮閉し、標識を設けること。また、出入口には鍵をかけること
 - ④ 変電設備の電源側には、係員が容易に操作できる箇所に開閉器を設けること

- ⑤ 変電設備は、極力屋外形キュービクルを使用することが望ましい
- ⑥ 移動式変電設備は、円滑に移動出来るようなブレーキ付きの台車等に乗せ、かつ移動時にケーブルが円滑に操作できるように適当な方法を講じること
- ⑦ 移動用配線には、高圧用3種クロロプレンキャプタイヤケーブルを使用すること
- ⑧ 移動電線相互の接続は、行わないことが望ましい。
- ⑨ 移動電線と電気使用機器は、ボルト締め・その他の方法により堅牢に接続すること
- ⑩ 移動式変電設備の移動時は、特別の場合を除き電源を切って行うこと

vi) 低圧幹線設備

- ① 動力幹線と照明幹線は、別回路として配線することが望ましい。
- ② 動力線は、使用電圧400V以下、対地電圧300V以下とし、照明線は使用電圧200V以下、対地電圧150V以下とすること
- ③ 坑内へ低圧幹線を引き込む場合は、坑口付近に、また坑内変電設備より引き出す場合は、引き出し口に幹線用遮断機を設けること
- ④ 使用電圧300V以下の使用電線は、低圧絶縁電線（碍子引き、金属管、塩ビ管工事等の場合）、低圧ケーブル、または2種以上のキャプタイヤケーブル（ケーブル工事の場合）を用いること。ただし、十分な安全を確保出来る場合は、絶縁電線（碍子引き等）が使用できる。
- ⑤ 使用電圧300V超過の使用電線は、低圧ケーブル、または3種以上のキャプタイヤケーブル（ケーブル工事の場合）を用いること。ただし、十分な安全を確保出来る場合は、絶縁電線（碍子引き等）が使用できる。
- ⑥ 幹線は、必要に応じ鋼管、塩ビ管等で防護すること
- ⑦ 低圧ケーブル及キャプタイヤケーブルの端末は、三叉管またはテープ処理等により水が入らないようにすること
- ⑧ 幹線には、必要に応じ区分開閉器を設けること

vii) 動力設備

- ① 分岐配線工事は低圧配線設備工事に準じること
- ② 分岐箇所には、開閉器を取り付けること
- ③ 移動電線は、使用電圧300V以下の場合は、2種以上キャプタイヤケーブルまたはクロロプレンキャプタイヤケーブル（使用頻度が激しい場合は3種以上が望ましい）を、また使用電圧300V超過の場合は、3種以上のキャプタイヤケーブルまたはクロ

ロプレんキャプタイヤケーブルを使用すること

- ④ 機器の配置は、土砂崩落の恐れがなく、湧水の極力少ない箇所に配置すること
- ⑤ 地絡保護及び接地工事は、ix)及びx)を参照のこと

viii) 照明設備

- ① 分岐箇所には、開閉器を取り付けること
- ② 照明器具は、丈夫なガード付き屋外用のものを使用すること
- ③ 照明器具は、水滴が器具内に入らぬように取り付け方法に注意すること
- ④ 照明は、影ができぬよう考慮すること
- ⑤ 明るさは、作業ならびに保安上十分なものとする
- ⑥ 火薬取扱所などの内部に照明器具を取り付ける場合は、照明器具は全閉型を使用し、配線は、金属管工事、またはCDケーブル及びキャプタイヤケーブルを除くケーブル工事とし、かつ自動遮断機または開閉器を所外に設けること
- ⑦ 地絡保護及び接地工事は、ix)及びx)を参照のこと

ix) 地絡保護

- ① 動力用幹線には、回路に適した感度の漏電遮断器または漏電警報機を取り付けること
- ② 移動用機器には、機器毎に漏電遮断機を取り付けること
- ③ 照明幹線には漏電警報機を取り付け、分岐回路には必要に応じ漏電遮断器を取り付けること
- ④ 移動照明器具は、必ず漏電遮断器を通して配線すること

x) 接地

- ① 接地抵抗値：建設現場では、被保護機器より漏電した場合の人体の許容接触電圧は25V以下にすることが望ましい。漏電遮断器を取り付けた場合の接地抵抗値は500Ω以下の範囲において次式の値とすることが出来るが、接地抵抗値はこの値よりできるだけ小さくすることが望ましい。

$$\text{接地抵抗値} \leq \frac{\text{許容接触電圧} 25 (\text{V})}{\text{定格感度電流} (\text{A})} \quad [\Omega]$$

5mAの場合は500Ω以下
30mAの場合は500Ω以下
200mAの場合は125Ω以下
500mAの場合は50Ω以下

- ② 坑内で接地抵抗値が規定以下にとれない場合は、共用の接地線により坑外で共通接地を行い、かつ坑内で補助接地を行うこと

(b) 人が常時通行するトンネル内の配線

人が常時通行するトンネル内の配線は、その使用電圧が低圧のものに限るものとし、かつ、次により施設しなければならない。 *1 (電技 第234条)

- ① 配線方法は、ケーブル配線、碍子引き配線、金属管配線等による。
- ② 碍子引き配線の場合は、直径1.6mmの軟鋼線と同等以上の強さ及び太さの絶縁電線を使用し、路面上2.5m以上の高さに施設する(300V以下)。
- ③ 電路には、トンネルの引込口に近い箇所において専用の開閉器を施設すること

(c) 鉱山その他の坑道内の配線

鉱山その他の坑道内の配線は、その使用電圧が低圧または高圧のものに限るものとし、かつ、次により施設しなければならない。(電技 235条)

- ① 低圧配線は、各種ケーブル配線により施設すること
- ② 高圧配線は、(ケーブル配線による高圧屋内配線)の規定によるケーブル配線により施設すること
- ③ 電路には、坑道の入口に近い箇所において専用の開閉器を施設すること
- ④ 鉱山その他坑道内に施設する低圧又は高圧の電気工作物は、(湿気の多い場所及び水気のある場所)の規定に準じて施設しなければならない。

(d) トンネル等の電球線または移動電線等の施設 (電技 第237条)

- i) トンネル等に施設する使用電圧が300V以下の低圧の電球線又は移動電線は、次により施設しなければならない。
- ① 電球線は、断面積0.75mm²以上の防湿コード、ゴムキャプタイヤコード、またはビニルキャプタイヤケーブル以外のキャプタイヤケーブルであること
- ② 移動電線は、防湿コード、ビニルコードまたはキャプタイヤケーブルであること
- ii) トンネル等に施設する使用電圧が300Vを超える低圧の移動電線は、電技第206条(屋内低圧用の移動電線の施設)に準じて施設しなければならない。
- iii) トンネル等に施設する低圧の移動電線に接続して使用する電気機器は、電技第206

条の接地の項に準じて接地しなければならない。

- iv) トンネル等に施設する低圧の移動電線と低圧配線又は電気機器との接続は、差込接続器を用いること
- v) トンネル等に施設する高圧の移動電線は、電技第218条（屋内高圧移動電線）の規定に準じて施設しなければならない。

(e) その他坑内電気設備

- i) 坑内に施設する低圧又は高圧配線が、弱電流電線、光ファイバケーブル、水管、ガス管等と接近又は交差する場合の離隔距離は碍子引き工事では10cm以上、ケーブル工事では接触しないように施設すること（高圧ケーブルとは15cm以上）
(電技第136条)
- ii) 坑内に施設する各電気機器用の高感度高速形の漏電遮断機の取り付けとは別に、幹線保護用として、幹線の電源側に感度電流200mA程度の漏電遮断機を施設する。
- iii) 坑内に接地極を施設する事が困難な場合は、坑口付近に接地極を設け、幹線とともに接地線を施設する。坑内に変電設備を施設するときは、第一種、第二種、第三種、特別第三種接地線を共用接地線として施設する。
- iv) 可燃性のガス又は引火性物質の蒸気が充満し、点火源があれば爆発する恐れがある危険場所に施設する電気機器及び配線設備は、防爆性能を有する構造のものであること
(電技208)
- v) 坑内には停電時の非常用電源として、100m以下の間隔で充電電池内蔵の照明器具を施設すること

*1 電技：電気設備技術基準

(f)点検の種類と故障対策

i) 点検の種類

表 5.1.8-2 電気設備の点検一覧

種 類	実 施 者	点 検 要 領 等	実 施 周 期	記 録 等	
設置時の点検	電気担当責任者または電気関係主任	絶縁抵抗測定 接地抵抗測定 絶縁耐力試験 継電器試験	設置時	試験記録	
作業前の点検	作業者（取扱者）	外観点検、一部機能テスト	当日使用開始前		
日常巡視点検	電気関係主任または取扱責任者	主として運転中観察	毎日または週1回以上	日常点検表	
定期点検	月次点検	電気担当責任者または電気関係主任	主として運転中観察、簡単な測定	毎月1回以上	月次点検表
	年次点検	電気担当責任者または電気関係主任	運転停止、各種点検測定	毎年1回以上	年次点検表
臨時点検	電気主任技術者または電気担当責任者	主として運転停止観察、測定	事故発生時 災害発生時 災害予防時	試験記録 報告書	
持込時点検	電気関係の主任または取扱責任者	外観点検 絶縁抵抗測定 機能テスト	機器持込時	持込機械 使用許可書	

ii) 故障対策

電気設備の故障発生時の復旧手順を図 5.1.8-1 に、故障の種類と主な原因を図 5.1.8-2 に示す。

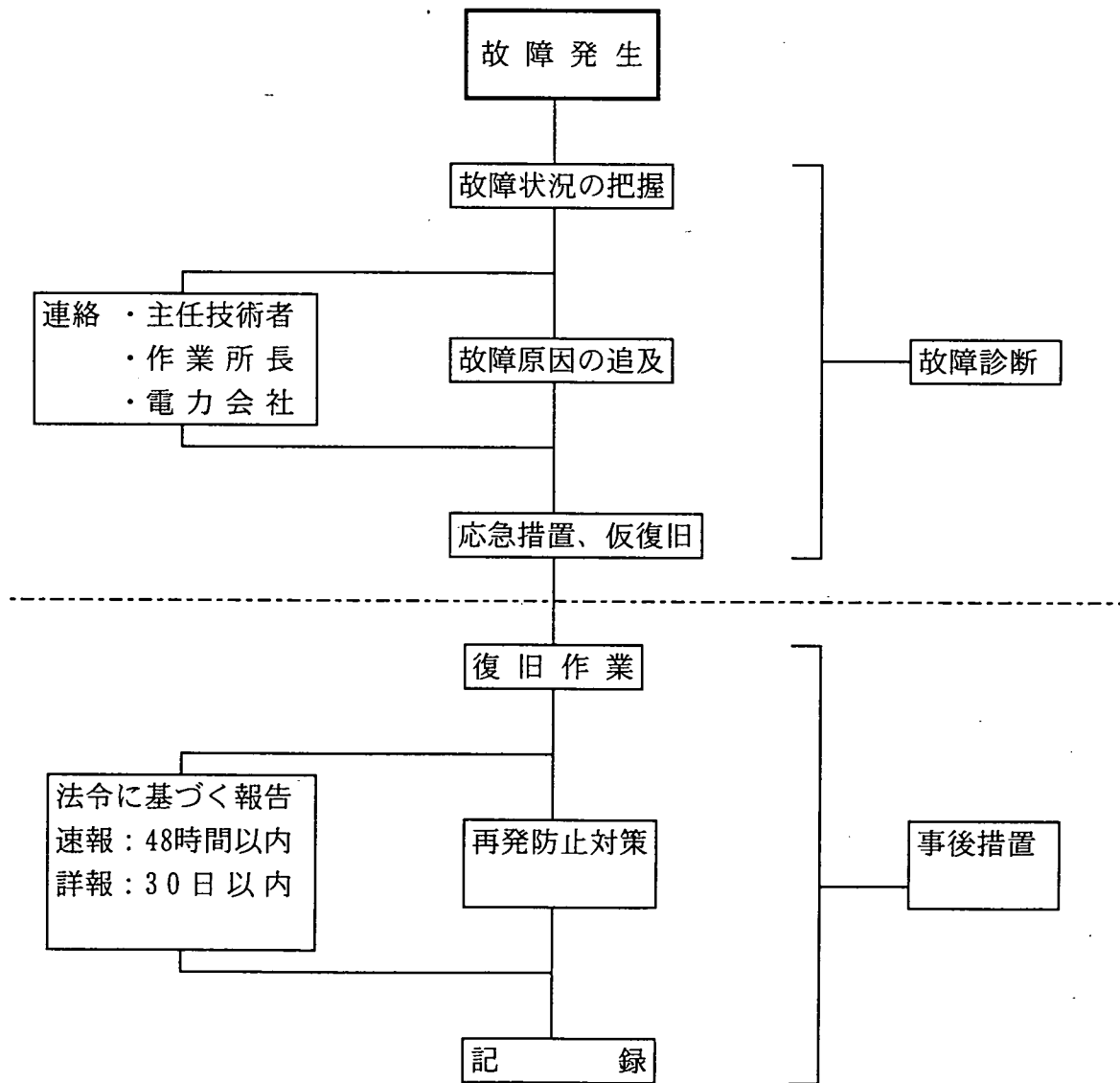


図 5.1.8-1 電気設備の故障発生時の復旧手順

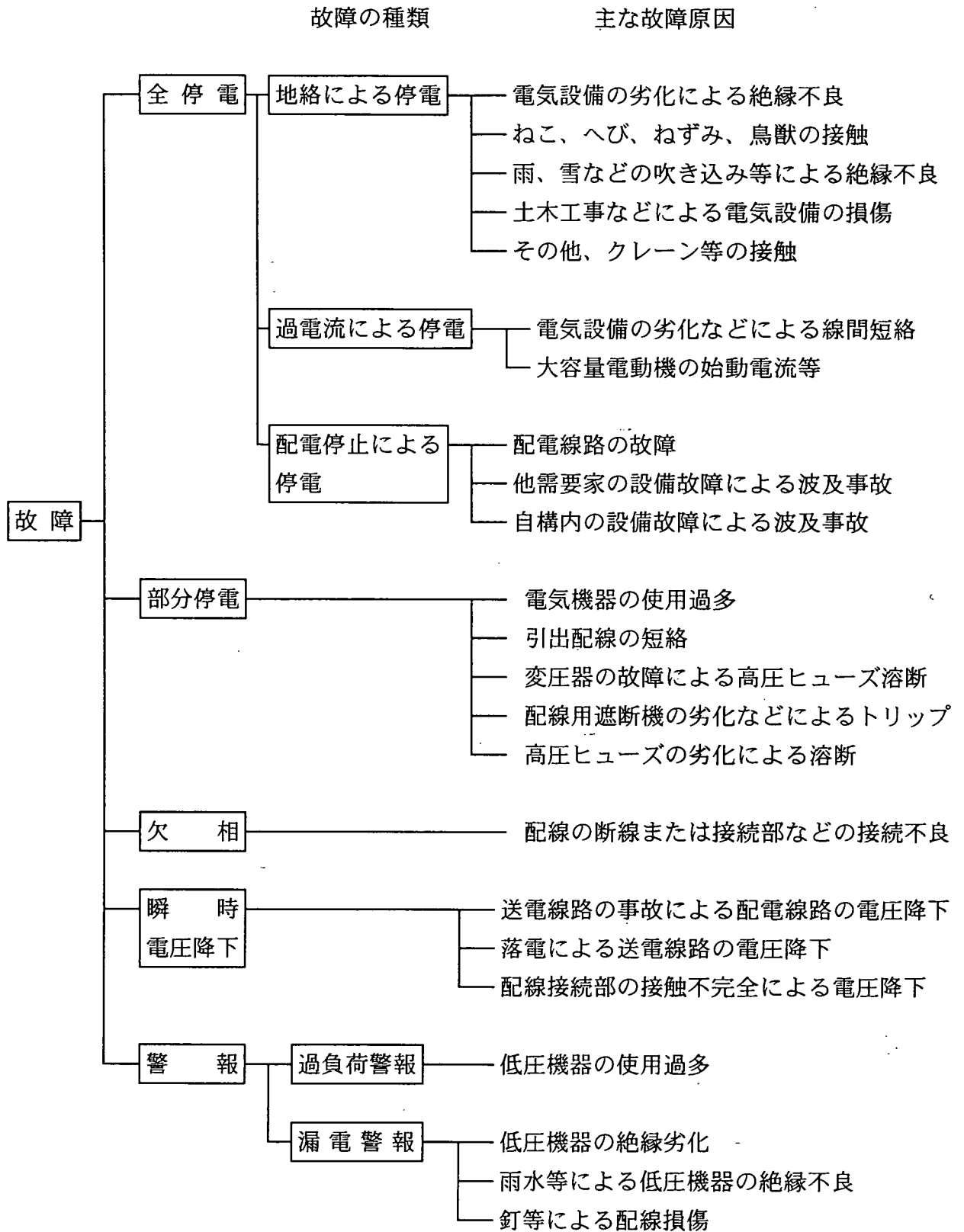


図 5. 1. 8 - 2 電気設備の故障の種類と主な原因

5.1.9 停電時の対応策と自家発電設備の計画

停電時の対応策として自家発電設備を設置するものとする。しかし、自家発電設備で全ての設備をカバーすると設備が過大となるため、設備の運転継続が最低限必要なものに対して自家発電設備を計画する。

(1) 停電時対応が必要な設備

停電時の対応策として、坑内の人員の安全、坑道・設備の湛水・水没の防止、外部排水の環境問題に配慮して、最低限、次の設備を自家発電設備でカバーするものとする。

- ① 排水設備 (坑内排水ポンプ)
- ② 濁水処理設備
- ③ 昇降設備 (エレベーター)
- ④ 照明設備 非常電源装置 (バッテリー内蔵) が設置されている時は不要
- ⑤ 通信設備 同 上
- ⑥ 非常警報設備 同 上

自家発電機の設備容量は、表5.1.9-1に示す機器を停電時運転させるために必要な発電機容量を算出する。発電機容量が大きくなるので、4グループに大別する。ここでは発電機は主立坑と換気立坑は別々に検討するが、濁水処理設備は容量が小さいのでCグループに入れ算出を行う。

表5.1.9-1 停電時対応に必要な機器

	グループ	NO	機器名	出力 (kW)	始動方式
主立坑	A	①	エレベータ巻上機	200kW (注1)	入-△始動
	B	②	排水ポンプ	110kW×10台(注1)	入-△始動
換気立坑	C	①	エレベータ巻上機	150kW (注1)	入-△始動
		②	濁水処理設備	80kW (注2)	直入れ始動
	D	③	排水ポンプ	55kW×10台(注2)	入-△始動

(注1) サイクル機構殿ご提示、(注2) 5.3.1にて算出

(2) 発電機の容量計算

表5.1.9-1に示す4グループの機器について、以下の①から③までの発電機容量を計算し、このうち最大となる値以上の発電機を選定する。なお、巻上機の始動方式が不明のため、計算上入-△始動として算出する。

①定格運転状態における負荷設備に給電するのに必要な発電機容量：PG1 [kVA]

$$PG1 = \frac{PL}{\eta L \times PFL} \times \alpha \quad [\text{kVA}]$$

PL : 負荷出力合計 [kW]

ηL : 負荷の総合効率 (特性が不明なときは0.85)

PFL : 負荷の総合力率 (特性が不明なときは0.8)

α : 負荷率、需要率などを考慮した係数 (特性が不明なときは1.0)

②負荷の中で最も大きい始動kVAを有する電動機を始動するときの許容電圧降下を考慮した場合の発電機容量：PG2 [kVA]

$$PG2 = P_m \times \beta \times C \times X_d \times \frac{100 - \Delta V}{\Delta V} \quad [\text{kVA}]$$

P_m : 負荷電動機または電動機群の始動kVA (出力kVA $\times \beta \times C$) のなかで最大始動kVAを有する電動機出力 [kW]

β : 電動機の出力1kW当たりの始動kVA (特性が不明の時は7.2)

C : 始動方式による係数 (直入始動1.00 Δ - 始動0.67)

X_d : 発電機定数 0.15~0.2 (不明な時は0.2)

ΔV : P_m [kW] の電動機を投入したときの許容電圧降下率 (通常30%)

③負荷の中で [始動kW - 入力kW] の値が最大となる電動機を最後に始動するときの発電機容量：PG3 [kVA]

$$PG3 = \left(\frac{PL - P_n}{\eta L} + P_n \times \beta \times C \times PF_s \right) \times \frac{1}{\cos \phi} \quad [\text{kVA}]$$

PL : 負荷の出力合計 [kW]

P_n : [始動kW - 入力kW] の値が最大となる電動機または電動機群の出力 [kW]

β : 電動機の出力1kW当たりの始動kVA (特性が不明の時は7.2)

PF_s : P_n kWの電動機の始動時力率 (特性不明の時は0.4)

$\cos \phi$: 発電機定格時力率

(a) Aグループ（主立坑、エレベーター巻上機 200kW）の発電機容量

$$\textcircled{1} \text{ PG1} = \frac{P L}{\eta L \times P F L} \times \alpha = \frac{200}{0.85 \times 0.8} \times 1.0 = 294 \text{ kVA}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{2} \text{ PG2} &= P_m \times \beta \times C \times X_d \times \frac{100 - \Delta V}{\Delta V} \\ &= 200 \times 7.2 \times 0.67 \times 0.2 \times \frac{100 - 30}{30} = 450 \text{ kVA} \end{aligned}$$

よって主立坑エレベーター巻上機用発電機容量500kVAを使用する。

(b) Bグループ（主立坑、排水ポンプ 110kW×10台）の発電機容量

$$\textcircled{1} \text{ PG1} = \frac{P L}{\eta L \times P F L} \times \alpha = \frac{110 \times 10}{0.85 \times 0.8} \times 1.0 = 1,618 \text{ kVA}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{2} \text{ PG2} &= P_m \times \beta \times C \times X_d \times \frac{100 - \Delta V}{\Delta V} \\ &= 110 \times 7.2 \times 0.67 \times 0.2 \times \frac{100 - 30}{30} = 248 \text{ kVA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{3} \text{ PG3} &= \left(\frac{P L - P_n}{\eta L} + P_n \times \beta \times C \times P F_s \right) \times \frac{1}{\cos \phi} \\ &= \left(\frac{1,100 - 110}{0.85} + 110 \times 7.2 \times 0.67 \times 0.4 \right) \times \frac{1}{0.8} = 1,722 \text{ kVA} \end{aligned}$$

よって主立坑排水ポンプ用発電機容量は1,800kVAとする。

(c) Cグループ（換気立坑、エレベーター巻上機150kW+濁水処理設備 80kW）の発電機容量

$$\textcircled{1} \text{ PG1} = \frac{P L}{\eta L \times P F L} \times \alpha = \frac{150 + 80}{0.85 \times 0.8} \times 1.0 = 339 \text{ kVA}$$

$$\textcircled{2} \text{ PG2} = P_m \times \beta \times C \times X_d \times \frac{100 - \Delta V}{\Delta V}$$

P_mの算出

負荷の種類	始動kVA=出力kW×β×C	P _m
エレベーター巻上機	150×7.2×0.67=724	○
濁水処理設備	80×7.2×1.0 =576	

$$= 150 \times 7.2 \times 0.67 \times 0.2 \times \frac{100 - 30}{30} = 338 \text{ kVA}$$

$$\textcircled{3} \text{ PG3} = \left(\frac{P L - P_n}{\eta L} + P_n \times \beta \times C \times PF_s \right) \times \frac{1}{\cos \phi}$$

P_nの算出

負荷の種類	始動時kW	定常時入力kW	入力変換値	P _n
エレベーター巻上機	289.6	176.5	113.1	
濁水処理設備	230.4	94.1	136.3	○

$$A; \text{ 始動時kW} = \text{出力kW} \times \beta \times C \times PF_s$$

$$B; \text{ 定常時入力kW} = \text{出力kW} \div \eta L$$

$$C; \text{ 入力変換値} = A - B$$

$$= \left(\frac{230 - 80}{0.85} + 80 \times 7.2 \times 1.0 \times 0.4 \right) \times \frac{1}{0.8} = 509 \text{ kVA}$$

よって換気立坑用エレベーター巻上機・濁水処理設備用発電機容量は500kVAとする。

(d) Dグループ (換気立坑、排水ポンプ 55kW × 10台) の発電機容量

$$\textcircled{1} \text{ PG1} = \frac{P L}{\eta L \times P F L} \times \alpha = \frac{55 \times 10}{0.85 \times 0.8} \times 1.0 = 809 \text{ kVA}$$

$$\textcircled{2} \text{ PG2} = P_m \times \beta \times C \times X_d \times \frac{100 - \Delta V}{\Delta V}$$

$$= 55 \times 7.2 \times 0.67 \times 0.2 \times \frac{100 - 30}{30} = 124 \text{ kVA}$$

$$\textcircled{3} \text{ PG3} = \left(\frac{P L - P_n}{\eta L} + P_n \times \beta \times C \times PF_s \right) \times \frac{1}{\cos \phi}$$

$$= \left(\frac{550 - 55}{0.85} + 55 \times 7.2 \times 0.67 \times 0.4 \right) \times \frac{1}{0.8} = 861 \text{ kVA}$$

よって換気立坑用排水設備用発電機容量は900kVAとする。

(e) 使用自家発電機の一覧

以上の結果をまとめ、停電時対応に必要な自家発電機の一覧を表5.1.9-2に示す。

表5.1.9-2 停電時対応の自家発電機

	グループ	対応機器	出力(kW)	発電機総容量	発電機組合せ(例)
主立坑	A	エレベータ巻上機	200kW	500kVA	500kVA×1台
	B	排水ポンプ	110kW×10台	1800kVA	600kVA×3台
換気立坑	C	エレベータ巻上機	150kW	500kVA	500kVA×1台
		濁水処理設備	80kW		
	D	排水ポンプ	55kW×10台	900kVA	500kVA×2台

5. 2 坑道の維持管理

5. 2. 1 坑道自体の安定性の維持管理

坑道自体の安定性の維持管理に関して、対象とする坑道は、超深地層研究所の主立坑、換気立坑、最深ステージ、中間ステージ及び予備ステージのうち、断層や破碎帯などの特殊な地質条件や試験坑道及びこれに関連する領域を除いた一般部の坑道を指すものとする。すなわち、掘削終了段階で取得している地質データ及び施工記録・観察から、将来の変状等の可能性が低いと想定される領域を、長期にわたり合理的に監視することを目的とする。また、これらの一般部の坑道で変状が確認された場合は、計測項目の追加や観測体制の強化などを実施し、試験研究の関連する領域として区分されることになるので、一般部の坑道とはみなさないものとする。

ここで対象とする維持管理の期間は、掘削直後から空洞建設終了後の供用期間までとなる。ここで、安定性の評価を行うためには、掘削直後からの測定監視体制が整っており、初期データが蓄積されていることが重要である。

一般に、トンネルにおける観察・計測は、図5. 2. 1 - 1 のようなフローに従って実施される。観察・計測の結果は、予め設定された管理基準をもとに検討され、安全性及び経済性を考慮して施工管理・設計変更に応用される。

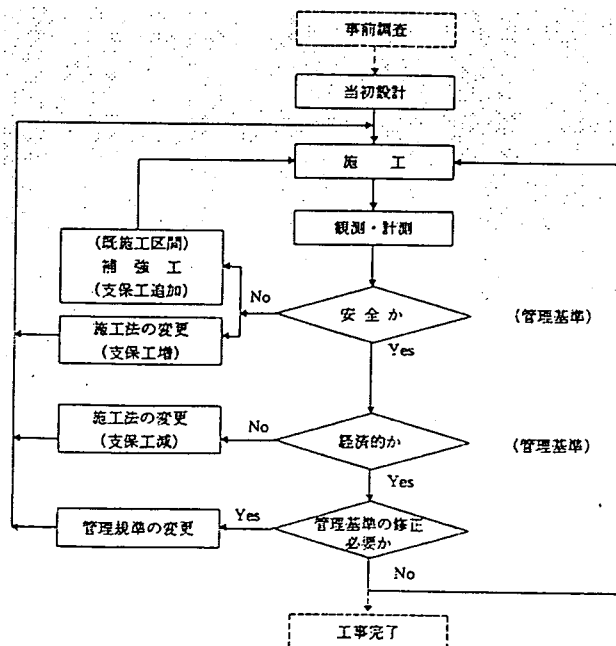


図5. 2. 1 - 1 観察・計測の位置付けと役割

表 5. 2. 1 - 1 地山の種類と計測項目の重要度

計測項目 地山の種類	計測 A			計測 B							
	坑内観察調査	内空変位測定	天端沈下測定	地表面沈下・ 地中変位測定	地中変位測定(坑内)	ロックボルト 軸力測定	覆工応力測定	鋼製支保工 応力測定	ロックボルト 引抜き耐力試験	地山試料試験	坑内弾性波速度 測定
硬岩地山(断層等の 破砕帯を除く)	◎	◎	◎	△	△*	△*	△	△	△	△	△
軟岩地山(大きな塑性 土圧は発生しない)	◎	◎	◎	△	△*	△*	△*	△	△	△	△
軟岩地山(大きな塑性 土圧が発生する)	◎	◎	◎	△	◎	◎	○	○	△	○	△
土 砂 地 山	◎	◎	◎	◎	○	○	△*	○	○	◎	△

◎：必ず実施する項目

○：実施すべき項目

△：必要に応じて実施する項目

*：測定結果から支保量の軽減の可能性を判断する場合は有用性が高くなる。

表 5. 2. 1 - 1 は、トンネルにおける観察・計測に関して、地山の種類と計測項目の重要度を示したものである。

計測 A は、地山及び支保部材が異常な挙動を示していないか、安定しつつあるか等の判断資料を得るために地山の状態やトンネル壁面の挙動に着目した項目であり、日常実施するものである。計測 B は、トンネル壁面や地山内部の挙動と各支保部材の力学的挙動との相互の関係を把握し現状の支保が地山と適合しているか検討するため、代表的な断面を選んで実施する。

超深地層研究所は、土岐花崗岩類の岩盤に建設されることから、硬岩地山と考えられる。また、計測の目的は、空洞建設終了後の供用期間に地山及び坑道が異常な挙動を示していないか、安定しているかどうかを判断することであり、施工中のトンネルの計測でいえば、計測 A に相当する。

超深地層研究所は、約 1,000m の 2 本の立坑、約 2,100m の水平坑道で構成され、監視領域はきわめて広範に及ぶ。このため、上記の目的を満足するためには、地中変位測

定やロックボルト軸力測定などの詳細な計測項目を疎に実施するより、坑道の維持管理にかかわる必要最小限の計測項目を、可能な限り高い密度で設定することが重要である。

さらに、超深地層研究所は、その供用期間が長期にわたることから、計測項目は、計測システムの耐久性、メンテナンスの簡便さ、測定精度の信頼性が要求される。

以上の事項を考慮すると、超深地層研究所における計測項目として内空変位測定（天端沈下測定を含む）が適している。ここでは、内空変位測定に着目し、監視方法・技術の現状と課題、超深地層研究所における坑道の維持管理の概念、定常的測定監視計画について検討する。

(1) 坑道内空変位の測定監視方法・技術の現状と課題

(a) 内空変位測定の測定監視方法

i) スチールテープによる方法

従来、実施されてきた内空変位測定は、図5.2.1-2に示すように、鋼球で作られた測定ポイントをアンカー等で坑道壁面に打設しておき、2点の測定ポイント間の距離をスチールテープで測定する方法である。測定器はスチールテープに一定の張力をかけられる構造となっている。

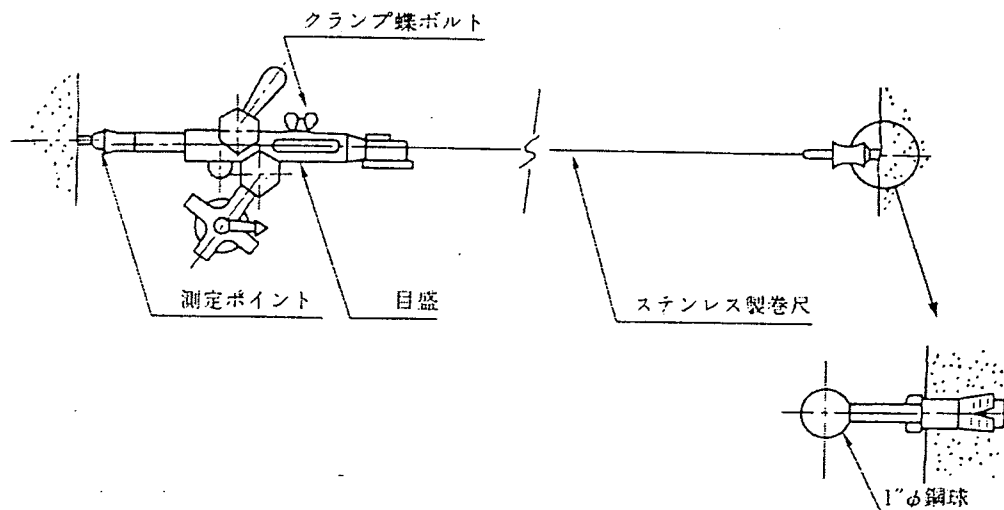


図5.2.1-2 スチールテープによる内空変位測定

スチールテープを用いる方法の課題は、測定ポイントの打設作業が煩雑であること、測定器を測定ポイントに脱着しなければならないこと、このため高所作業など

を伴う場合があること、測定線に障害物があると測定できないこと、測定時間がかかる場合があること、測定ポイントが他の作業の障害になる場合があることなどである。

ii) 光学機器による方法

これを解決するために、光学機器を使用した内空変位測定法が普及した。距離と角度を光波により同時に計測する高精度の測定器を使用し、測点に貼り付けた反射ターゲットを視準し、測定器に内蔵されたデータコレクタを使って座標計算により 2 測点間の距離を短時間に求めるシステムである。この方法は条件によって測定精度が左右されるが、作業性、安全性に優れている。現在、この測定法が最も普及している。

iii) レーザー投影による方法

電力中央研究所では、反射ターゲットを使わずに、1 点からレーザー光を発射し、岩盤の変位によるレーザースポットのずれをカメラで捉え、変位を計算するシステムを開発している。

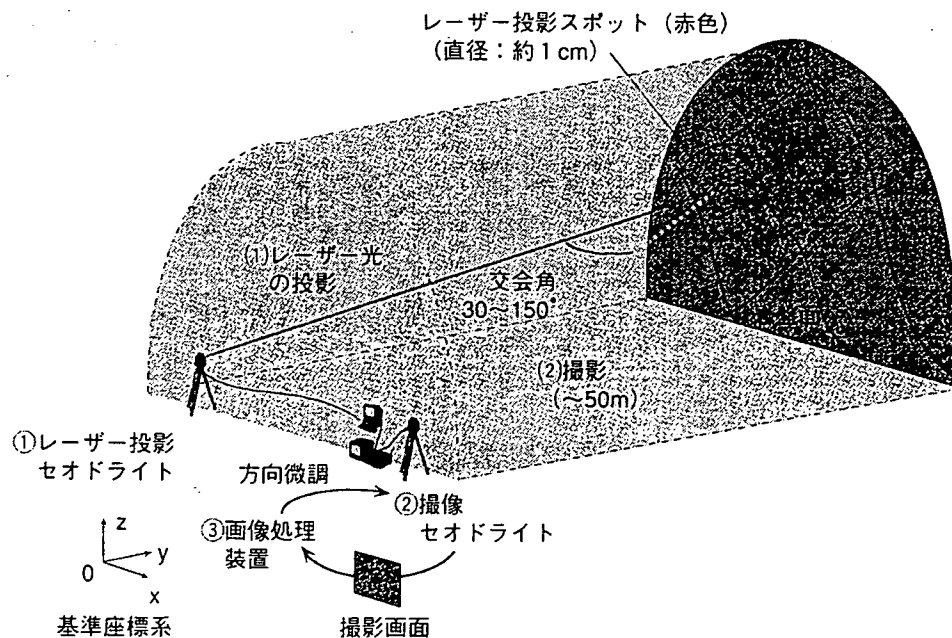


図 5.2.1-3 電中研式の岩盤変位測定方法の原理

この測定方法は、反射ターゲットなどを設置する必要がないため、崩壊の恐れのある切羽に人が近づかなくてよいことや、レーザー投影とスポットの追尾を自動化

するなど、多くの利点を有する。また、9m先の岩盤を測定し、精度は奥行き方向で0.3mm、断面方向で0.1mmと高精度である。課題として、基本的に定点測定であり、システムを原位置に固定する必要があるため、計測サイトが多数ある場合には適用が困難であることが挙げられる。

iv) 精密写真測量による方法

トンネルにおける精密写真測量技術は、京都大学大西教授らが開発を実施している。

写真測量は、航空写真からの画像から地形データを読み取る空中三角測量の技術を基にして、複数の2次元の画像から被写体の3次元像を再構築する手法として発展してきた。視界の開けた2点から被写体を写真撮影して、実体視の原理によりさまざまな計測を行う手法は既にいくつか提案されているが、その多くは2枚の写真に被写体を撮影して、その重複して写った部分から3次元画像を構築する手法である。これら手法では、被写体の面的な変形状態を把握できるが、高精度な計測は困難で、また精密に計測された基準点を複数点設置する必要がある。また、近年デジタルカメラの低価格化と高精度化が進んでおり、市販のデジタルカメラによる高精度の写真測量が実現できれば、リアルタイムでの変位計測が可能になる。

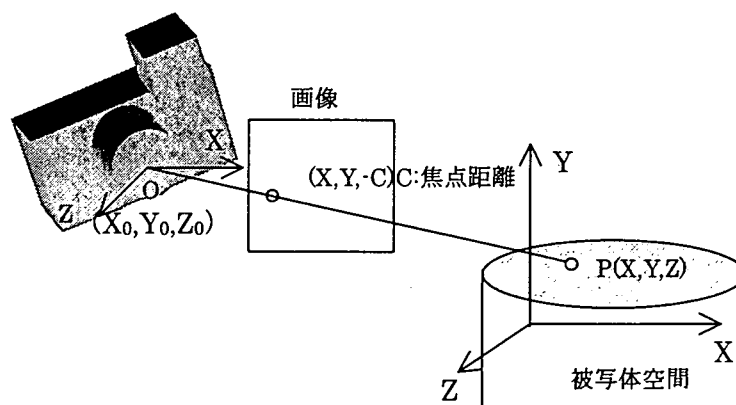


図 5. 2. 1 - 4 共線条件式概念図

本計測システムの原理を示す。図 5. 2. 1 - 4 は立坑上の標点をデジタルカメラにて撮影する場合の模式図である。図において、標点の 3 次元座標 (X, Y, Z) とカメラの位置 (X_0, Y_0, Z_0) 、及び画像上の標点の座標 (x, y) は同一の直線上

に存在する。これは中心投影原理と呼ばれ、この原理から各座標を関係付ける共線条件式と呼ばれる数式が幾何学的に導かれる。ただし、レンズ歪が存在する場合は図5.2.1-1に示す関係が成立しなくなる。この場合、レンズ歪を考慮した共線条件式を導かねばならず、図5.2.1-5に示すような形になる。

写真画像上の座標 (x,y) と被写体の3次元座標 (X,Y,Z) の関係式

(X_0, Y_0, Z_0) はカメラの位置、 a_{ij} はカメラの角度を表す

$$x = \Delta x - c \frac{a_{11}(X - X_0) + a_{12}(Y - Y_0) + a_{13}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)}$$

$$y = \Delta y - c \frac{a_{21}(X - X_0) + a_{22}(Y - Y_0) + a_{23}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)}$$

デジタルカメラの内部構造に起因するパラメーター(レンズ歪み)を $\Delta x, \Delta y$ として方程式に組み入れる。

図5.2.1-5 Self-Calibration法による共線条件式

このように、カメラのもつレンズ歪などの系統誤差を取り除く手法はSelf-Calibration法と呼ばれる。これにより、市販のデジタルカメラを用いても高精度な計測が可能となる。

次に、図5.2.1-5に示す共線条件式を線形化し、最小二乗法によって3次元座標 (X, Y, Z) を算出する。この場合線形化した方程式を簡略化すると次のように表せる。

$$v = AX - d$$

この式において v : 残差ベクトル、 A : 係数行列、 X : 未知数ベクトルそして d : 観測値ベクトルである。ここでは、座標 (X, Y, Z) だけでなく、撮影時のカメラの位置と角度も未知数として扱う。さらに、 v の2乗和を最小にする条件より正規方程式:

$$(A^T A) \hat{x} = A^T d$$

が導かれる。しかしながら、左辺の係数行列にはランク落ちが生じており逆行列が存在しない。これは、被写体空間上に座標軸が固定されていないためであり、座標軸の並進、回転及び長さに関する情報が欠如しているために生じる。これを解消するためには、座標軸を固定するための基準点を配置すれば良いが、立坑内ではそのための作業が困難である。そこで、本研究ではランク落ちに相当する分の拘束条件式を正規方程式と組み合わせて次のような拡大行列を作り、それを解くことによって未知数ベクトルを求める。

$$\begin{bmatrix} A^T & A & C^T \\ & C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x} \\ K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A^T d \\ 0 \end{bmatrix}$$

ここでKはラグランジュ定数であり、Cは係数行列と直交関係を有する。これは、最小二乗解とノルム最小解を組み合わせ、幾何学的に重心を固定して解く手法と等価であり疑似逆行列とも呼ばれる。このような拘束条件式を組み入れることにより、基準点無しで標点の3次元座標を求めることが可能である。

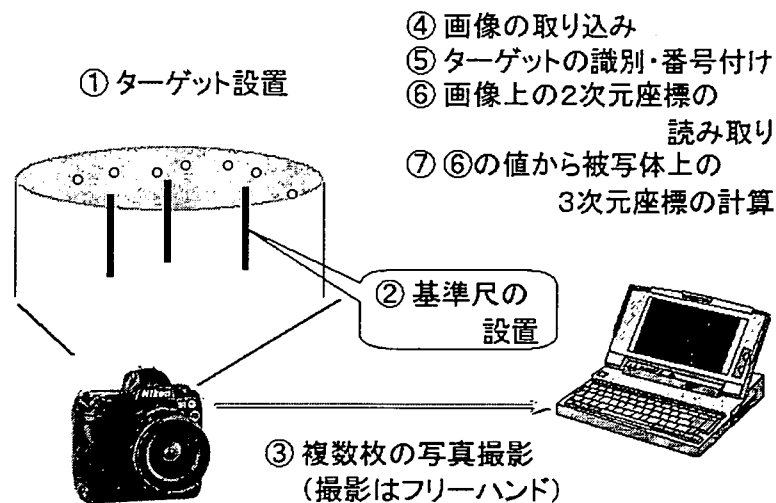


図5.2.1-6 精密写真測量の計測手順

図5.2.1-6に精密写真測量の手順を示す。標点となる計測点に反射ターゲットを設置する。これは光を反射する材料で構成されており、画像上での標点の認識を容易にするために設置するものである。

また撮影画像中に長さ情報を写し込むために、撮影時には、あらかじめ長さが計測された基準尺を数カ所に設置する。

写真撮影はフリーハンドで行い、さまざまな位置から複数(たとえば 20 枚)の写真を、18mm レンズ搭載の高画素数(たとえば 274 万画素)のデジタルカメラで撮影する。写真画像はその場でパソコンに取り込み、画像処理によってターゲットの認識を行う。図 5.2.1-7 にデジタル画像の例を示す。図において白く見えるのが反射ターゲットである。

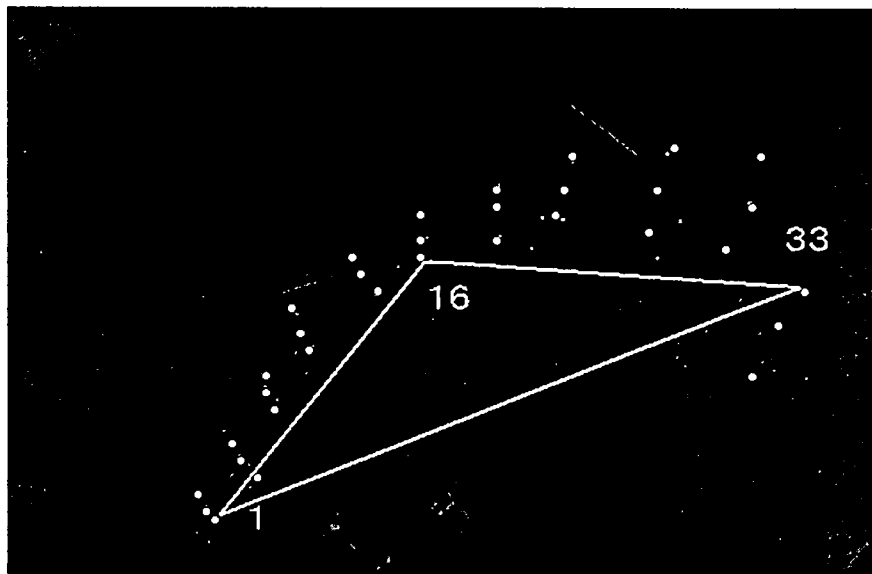


図 5.2.1-7 撮影画像例

たとえば、No.1、16 及び 33 の反射ターゲット 3次元座標の値から内空変位を計測する例を示す。本計測における分解能は以下の通りであった。ただし、No.1 のターゲットを原点とし、No.33 の方向に X 座標を、垂直上向きに Y 座標、それらと直角に Z 座標を右手座標系をなすように座標軸は設定している。

X 座標	Y 座標	Z 座標	XYZ 平均内的誤差
0.242mm	0.443mm	0.347mm	0.346mm

デジタルカメラを用いた精密写真測量は、以下の特徴を有する。

- ・高い精度で測定できること
- ・測定点は反射ターゲットだけで、簡単・安価で耐久性が高いこと
- ・測定装置は、基本的にデジタルカメラだけで、軽量で携帯が容易であること

- ・測定作業が簡単で特殊な技術を要さないこと
- ・測定時間が短いこと
- ・撮影枚数・反射ターゲットの増設で精度を向上できること
- ・測定装置であるカメラや、解析法の進化に追従できること
- ・メンテナンスは反射ターゲットの清浄程度で、対応が容易であること

(b) トンネル等における安定性の維持管理

i) トンネル安全問題検討会

旧運輸省が開催する「トンネル安全問題検討会」では、福岡トンネル、北九州トンネル、礼文浜トンネルにおける覆工コンクリート剥落事故に対応し、事故原因推定、トンネル検査の課題の抽出、保守管理のあり方について検討を実施している。検査の基本的な考え方を抜粋すると、以下のとおりである。

- ・定期検査と不定期検査に分類し、定期検査では4つの抽出項目（外力、劣化、剥落、漏水）を把握する
- ・4つの抽出項目は、外観検査（目視検査、打音検査）で絞り込む
- ・施工時に徹底的検査を実施し、初期状態を記録しておく
- ・定期的な検査は、2年以内でよい

本検討会の対象は覆工コンクリートの剥落に絞っているが、検査方法は目視と打音、定期検査の周期は2年としている。

ii) 青函トンネル海底部の維持管理

青函トンネルは、津軽海峡西口の津軽半島竜飛崎と渡島半島白神岬を結ぶ、総延長53.85km、海底部23.3kmの長大海底トンネルである。1964年に北海道側吉岡斜坑の掘削が開始され、1985年3月には本坑が貫通し、1988年3月には津軽海峡線として開業した。図5.2.1-8に、青函トンネル海底部の略図を示す。

青函トンネル周辺の地山は、常時強大な水圧を受けており、トンネルの健全度を供用中も常に監視するため、海底部で地質不良などによって難工事となった箇所を中心に、本坑で77断面、先進導坑・作業坑で59断面（当初は51断面であったが、路盤コンクリートの変状により8断面追加）の内空変位測定を行っている。本坑の内空変位測定点位置を図5.2.1-9に示す。

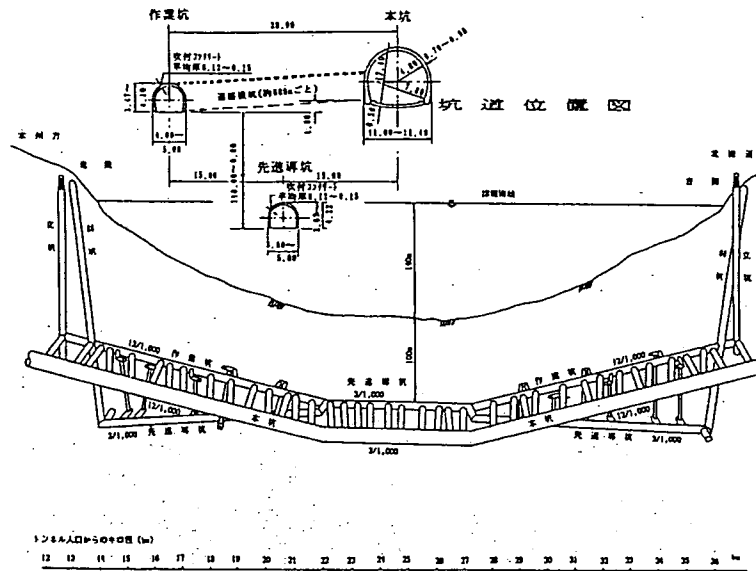


図 5.2.1-8 青函トンネル海底部略図

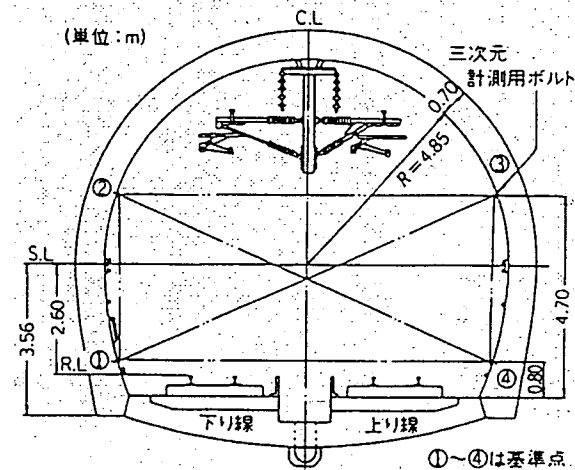


図 5.2.1-9 本坑内空変位測定点位置

青函トンネルの本坑における内空変位測定は、列車運行への支障や高圧電源への接触事故を防止するとともに、列車間合に測定ができるような配慮が必要である。計測開始当初は、デジタルトランシットを用いた方法で測定していた。しかし、列車の高速化と高密度化が予想されるため、測定時間の短縮や作業性と安全性の向上を図るため、1994年度からは、光波測距儀を用いた方法を導入して測定している。なお、先進導坑や作業坑の内空変位測定は、断面も小さく、列車運行などの支障もないことから、コンバージェンスメジャーによって測定している。

デジタルトランシットを用いた測定方法を図5.2.1-10に示す。測定断面を挟んで2台のデジタルトランシットを中央通路上の任意の位置に7~8m離して設置し、パソコンを接続する。測定は、以下の手順で行う。

- ①デジタルトランシットの前面の視準標を互いに視準しあう。このとき、水平及び鉛直角度は、パソコン操作で自動的に取り込まれる。
- ②基準尺の両端を望遠鏡の正反対で視準後、さらに互いを視準する。これにより、デジタルトランシットの位置座標が決定される。
- ③各測点を視準する。視準終了後、パソコンにより各測点間の距離が算出される。

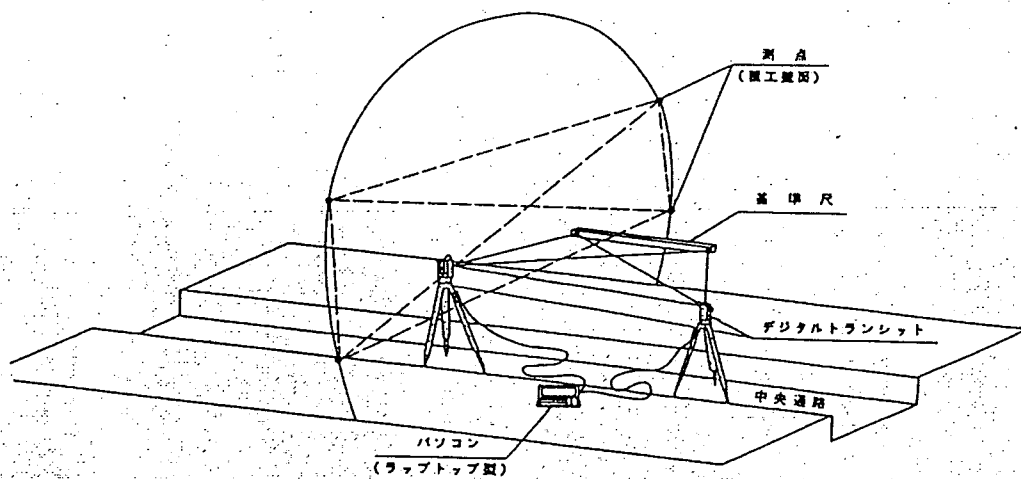


図5.2.1-10 デジタルトランシットを用いた測定

光波測距儀を用いた測定方法では、光波測距儀とターゲット間を往復してきた点滅光と光源の点滅光との位相差を測定することにより距離を正確に求め、この原理と測角から、任意の2点間の測点を視準するだけで座標系が自動的に決定し、これに基づいて各測点の座標値が算出される。測定方法は、図5.2.1-11に示すように、測定断面近傍の中央通路上に光波測距儀（コンピューター内蔵）を設置して次の手順で行う。

- ①アプリケーションカードとデータカードを測距儀に挿入したうえで、測定位置、測点番号などを測距儀のキー操作で入力する。
- ②最初の測点（原点）と2番目の測点を視準する。これにより、座標系が自動的に決定される。
- ③すべての測点の視準が完了すると同時にデータカードに各測点の座標値が記録

され、各測点間の距離を算出することができる。

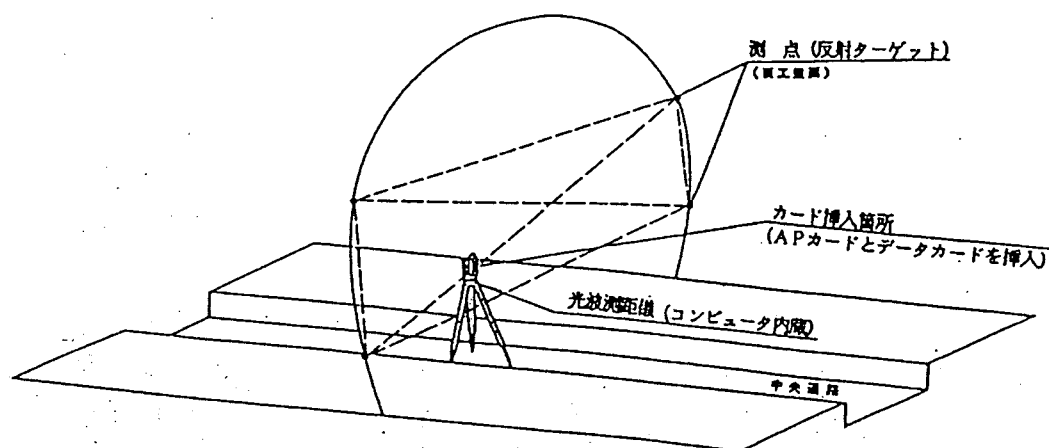


図5.2.1-11 光波測距儀を用いた測定

測定頻度は、1988年度から1991年度までは四半期ごとに1回(年4回)実施していたが、それまでのデータを整理した結果、1992年度からは地質不良区間、難工事区間、特殊断面区間及び1.5mm以上の変動を示した箇所については、年3回、その他は年2回の測定に変更している。また、各側線の測定値は、当初は3回の平均値としていたが、その後偏差が小さいため2回の測定で十分と判断し、1991年度から2回の平均値を用いている。本坑での内空変位測定における測定方法や測定頻度などの変遷を表5.2.1-2に示す。

測定結果は、1988年3月(開業時)の測定値を基準としている。各側線長の変化は、全数462測線(77箇所×6測線/箇所)のうち、基準値より0.5~1.0mm縮小している測線は67測線、1.0mm以上最大3.0mmまで縮小している測線は23測線あるが、連続した進行性をうかがわせるような傾向は認められない。本坑全域における目視検査などの結果でも、特に異常は認められないことと、変位量そのものが微小であることから、トンネルは全般的に健全な状態を保っていると考えられている。作業坑、先進導坑については、本坑と同じ頻度で測定されているが、1988年3月の測定値(基準値)と比較すると、測線長の変動は概ね0.2~0.6mmの範囲になっており、特に問題となるような変化は認められていない。

表 5. 2. 1 - 2 青函トンネル本坑に置ける内空変測定の変遷

年 度	1988～1990	1991	1992～1993	1994～
測定断面数	77	77	77	77
1 断面当たりの測線数	6	6	6	6
測定方法	トランシット	トランシット	トランシット	光波測距儀
測定頻度	年 4 回	年 4 回	年 2 回（一部 年 3 回）	年 2 回（一部 年 3 回）
1 測線当たりの測定回数	3 回	2 回	2 回	2 回
備 考			地質不良部、 変動の大きい 区間などは年 3 回測定	地質不良部、 変動の大きい 区間などは年 3 回測定

(2) 坑道の維持管理の考え方

超深地層研究所では、長期間にわたる研究が実施される。したがって、一般部の坑道の維持管理の考え方も、長期間にわたり確実な監視が可能であることが要求される。

岩盤の複雑な挙動を正確に把握するためには、応力状態、地中変位、水理特性、比抵抗変化、アコースティックエミッション計測等、さまざまな項目について測定する必要があるが、超深地層研究所の広範囲な領域にこれらの測定を実施することは適当でない。これらの測定装置は、一般に複雑な構造を有するため、計測に特別な技術と知識を必要とする。また、電気的な測定器が多いため、長期信頼性やメンテナンスに問題がある。一般に、1測点の測定コストと総測点数は反比例する。測定項目が複雑になって1測点の測定コストが増加すると測点数が減少し、坑道・坑内施設の安定性の監視という観点からすると、モニターできない領域が増加するため、不適切である。

これらのことから、観測項目としては、1測点の測定コストが低く、測定原理が単純で、計測に特別な技術と知識を必要としない内空変位が適している。

さらに、内空変位測定法に要求される性能を検討すると、

- ・観測システム・装置は、単純なものであること
- ・観測システム・装置は、メンテナンスが簡単であること
- ・観測システム・装置は、観測ポイントの増設が容易であること。
- ・観測システム・装置は、破損・故障・劣化が少ない構造であること
- ・観測システム・装置は、再現性・装置の互換性が高いこと

などが挙げられる。

スチールテープによる内空変位測定では、測定ポイントの設置が煩雑で、腐食や破損が懸念される。また、測定には若干の経験が必要であり、測定者の個人差が反映される可能性がある。

デジタルトランシットや光波測距儀を用いた測定法では、反射ターゲットを使用するため、安価で設置が簡単となっている。その反面、測定装置が大きく、三脚などで固定する必要がある、大掛かりとなる。測定には十分な知識と経験が必要である。測定結果は、測定装置自体の性能に大きく依存するため、システムが変更された場合のデータの継続性などに問題が生じる。

精密写真測量技術を用いた測定法では、反射ターゲットを使用するのはデジタルト

ランシットや光波測距儀と同様であるが、測定装置はデジタルカメラだけであるため、軽量で機動性に優れている。また、フリーハンドで撮影してよいから、三脚等は不要である。撮影された映像の解析処理により、カメラ自体やレンズのひずみ等をキャリブレーションできるため、測定装置の性能に依存する誤差は、他の測定法に比較すると小さい。測定作業そのものは、カメラで反射ターゲットを撮影するだけであるため、特別な知識や経験はほとんど必要としない。

これらを考慮すると、超深地層研究所における坑道の安定性の監視方法として、精密写真測量による内空変位測定が適している。

(3) 立坑及び水平坑道の定常的測定監視計画

超深地層研究所におけるトンネル精密写真測量を用いた内空変位測定による立坑及び水平坑道の安定性の監視計画について検討する。本検討では、要求される性能に関して、不明なパラメータが多い。たとえば、測定精度、測定頻度及び管理基準、維持管理に関連する測定に適用できる時間と労力などである。そこで、ここでは一般的なトンネルの仕様などを参考にして計測計画を検討・立案した。したがって、実施段階においてはこれらのパラメータによって計画は変更されるものとする。

(a) 計測サイト（測定断面）の設定

精密写真測量では、反射ターゲット数及び撮影枚数と測定精度に相関がある。このため、単一の測定断面よりも、複数の測定断面を組み合わせの方が精度が向上する。本検討では、4測定断面を1計測サイトとして設定する。測定断面内の各反射ターゲット間の距離間隔と坑道軸方向の測定断面の距離間隔は、なるべく近い値に設定する。また、計測サイトの坑道軸方向長さや坑道の直径が大きく異ならないように設定する。

i) 主立坑の計測サイト

主立坑の計測サイトは、1測定断面につき、反射ターゲットを8点、45°間隔で配置する。反射ターゲットは、コンクリート支保工の打ち継ぎ目の切欠き部に、アンカーまたは耐久性の高い接着剤などで固定する。このとき、反射ターゲットは立坑内壁から空洞側に突出しないようにして、施工の支障とならないようにし、また、反射ターゲット自体の破損・汚損を防止する。立坑では、吊り足場（スカ

フォード) が上下に移動し、作業の際は揺動を防止するために立坑内壁にグリッパを押し付けるので、反射ターゲットが立坑内部に突出していると、作業の支障になるばかりか、反射ターゲットの破損につながる。また、反射ターゲットの表面が滴水や粉塵で汚れると測定精度が低下するため、立坑内壁より空洞側に出ないように配置する。

主立坑の内径は 6.5m で、反射ターゲットの配置間隔は 45° であるため、各反射ターゲット間の直線距離の間隔は、2.49m となる。

1 計測サイトは 4 測定断面で構成するものとする。測定断面の間隔は、1 ステップのコンクリート支保工の高さに等しく、すなわち、2.60m である。

計測サイトの上から 2 番目及び 3 番目の計測断面に、長さが精密に測定されたターゲット付き基準尺を配置する。これらも立坑内壁から空洞側に突出しないようにし、固定はアンカー等を利用し、中央部の 1 点でコンクリート支保工に固定する。

図 5.2.1-12 に、主立坑の計測サイトを示す。

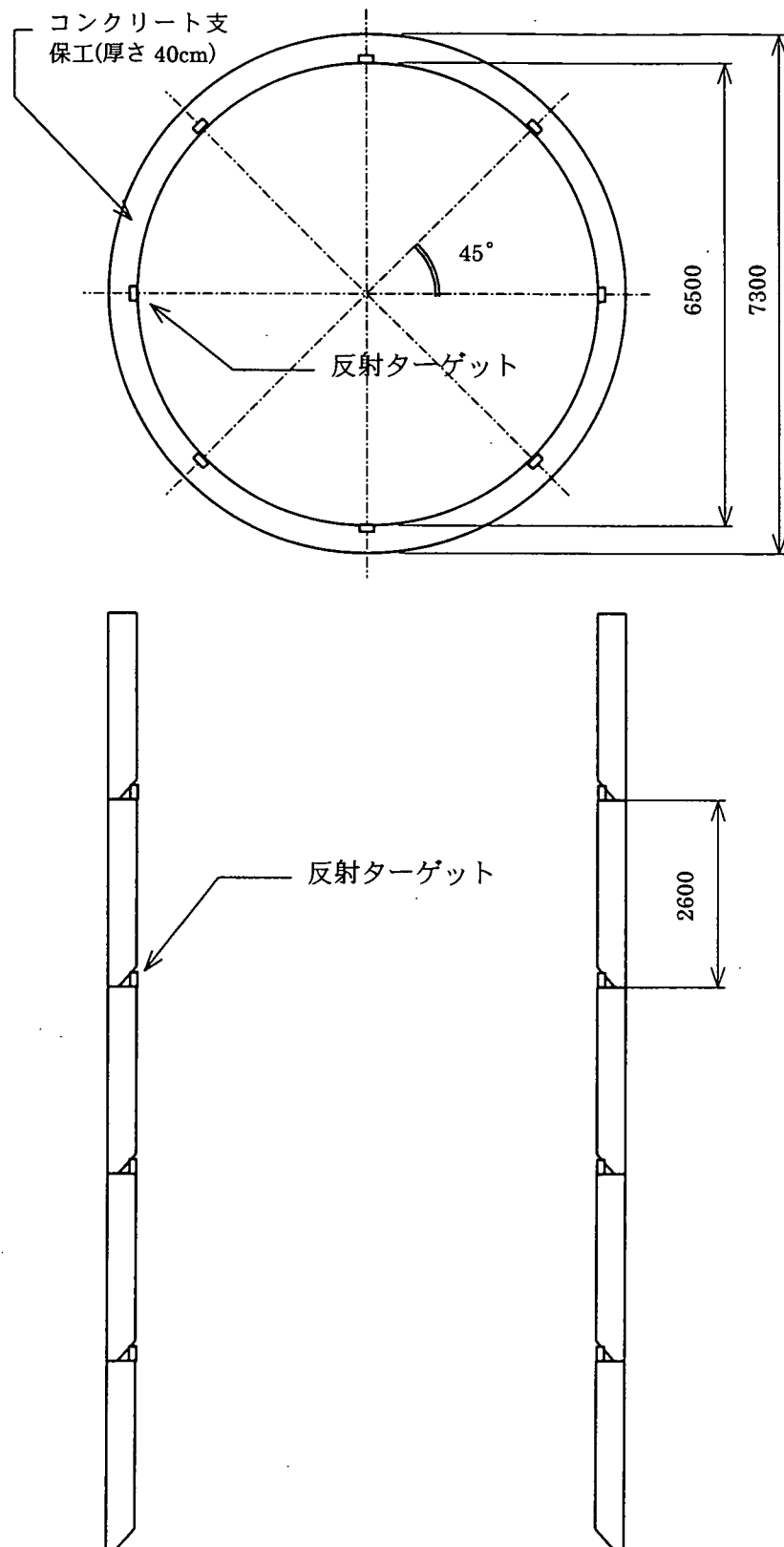


図5.2.1-12 主立坑の計測サイト

ii)換気立坑の計測サイト

換気立坑の計測サイトは、1測定断面につき、反射ターゲットを8点、45°間隔で配置する。反射ターゲットは、コンクリート支保工の打ち継ぎ目の切欠き部に、アンカーまたは耐久性の高い接着剤などで固定する。このとき、反射ターゲットは立坑内壁から空洞側に突出しないようにして、施工の支障とならないようにし、また、反射ターゲット自体の破損・汚損を防止する。

換気立坑の内径は4.5mで、反射ターゲットの配置間隔は45°であるため、各反射ターゲット間の直線距離の間隔は、1.72mとなる。

1計測サイトは4測定断面で構成するものとする。測定断面の間隔は、1ステップのコンクリート支保工の高さに等しい。以下、コンクリート支保工の高さは不明であるため、仮に1.8mと想定した。すなわち、測定断面の間隔は1.8mとする。

計測サイトの上から2番目及び3番目の計測断面に、長さが精密に測定されたターゲット付き基準尺を配置する。これらも立坑内壁から空洞側に突出しないようにし、固定はアンカー等を利用し、中央部の1点でコンクリート支保工に固定する。

図5.2.1-13に、換気立坑の計測サイトを示す。

図5.2.1-14に、立坑側壁の反射ターゲットの取り付け図を示す。コンクリート支保工の打ち継ぎ目の切り欠き部にアンカーを打ち込み、これに反射ターゲットを取り付ける。反射ターゲットの表面は、立坑空洞内に突出しないようにスペーサー等で調整する。

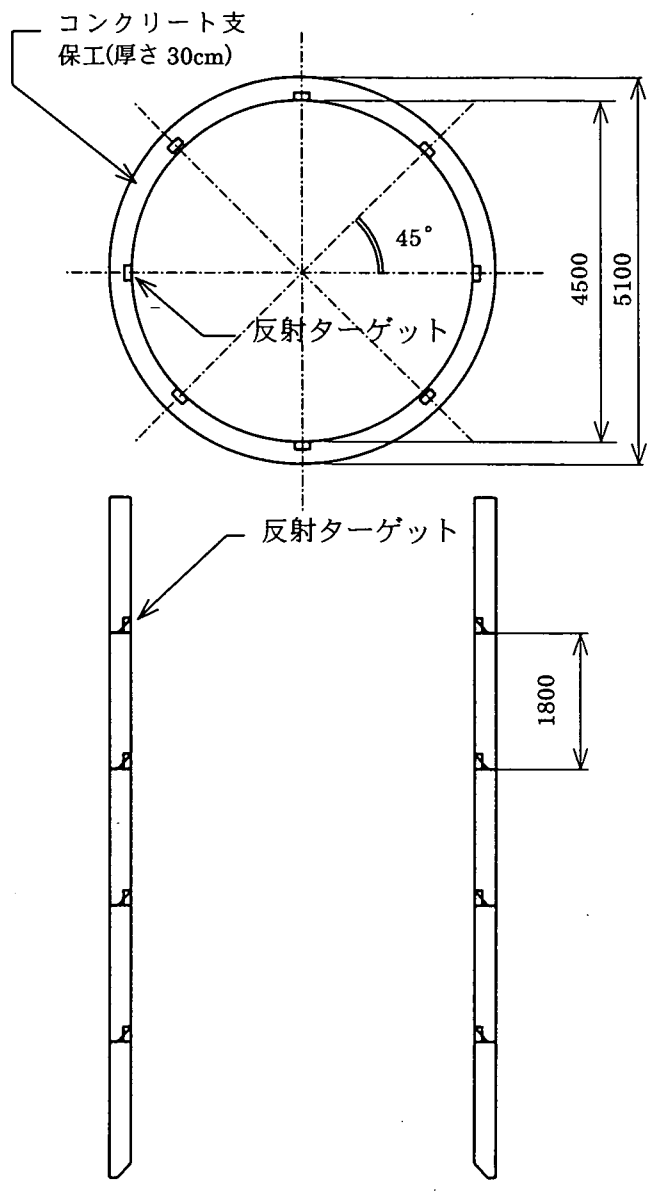


図 5. 2. 1 - 13 換気立坑の計測サイト

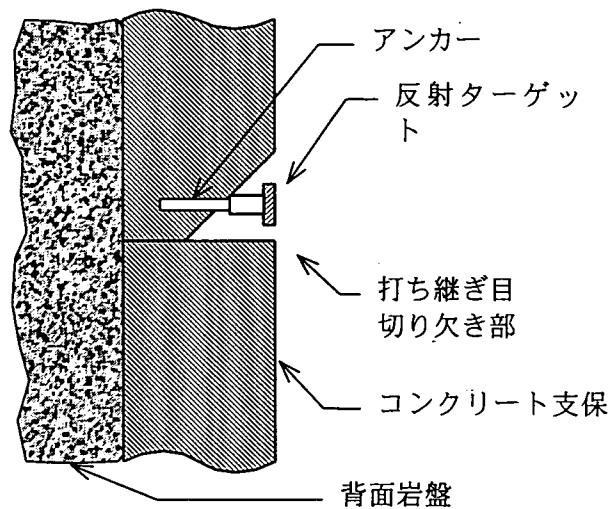


図5.2.1-14 立坑側壁の反射ターゲット

iii) 水平坑道の計測サイト

水平坑道の計測サイトは、1 測定断面に付き、反射ターゲットを 7 点配置する。上半の内径が 1.5m の半円部分では、45° 間隔で 5 点配置する。両脚部は床から 0.5 m の位置に 2 点配置する。反射ターゲットは、地山または吹き付けコンクリート支保工に、アンカーまたは耐久性の高い接着剤などで固定する。このとき、反射ターゲットはなるべく水平坑道内壁から空洞側に突出しないようにして、施工の支障とならないようにし、また、反射ターゲット自体の破損・汚損を防止する。

水平坑道の上半の内径は 1.5m で、反射ターゲットの配置間隔は 45° であるため、各反射ターゲット間の直線距離の間隔は、1.15m となる。また、下半部の高さが 1.5 m であるため、脚部の反射ターゲットの間隔は 1.0m である。

1 計測サイトは 4 測定断面で構成するものとする。測定断面の間隔は、1.0m と設定する。

計測サイトの上から 2 番目及び 3 番目の計測断面に、長さが精密に測定されたターゲット付き基準尺を配置する。水平坑道の場合は、測定者の通行が立坑に比較すると自由であるため、測定の際に基準尺を持ち込み、設置して測定し、その後つぎの計測サイトに移設するとよい。

図5.2.1-15 に水平坑道の計測サイトを示す。

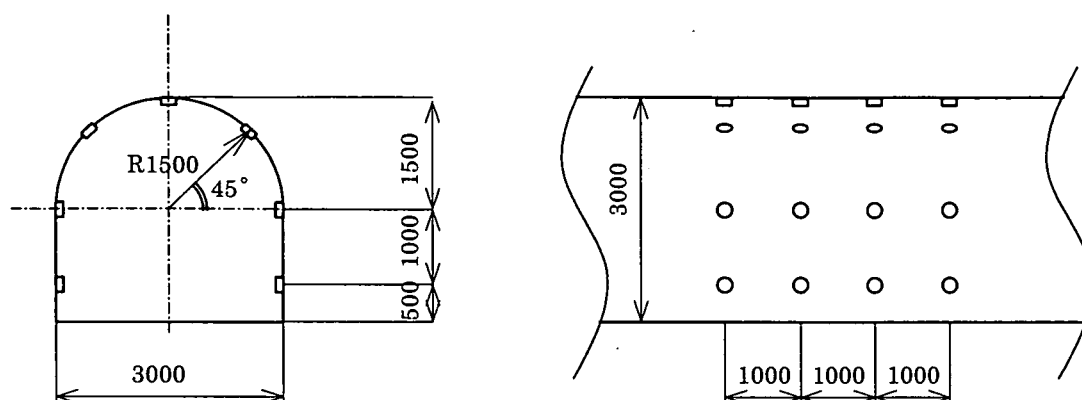


図 5.2.1-15 水平坑道の計測サイト

(b) 計測サイトの間隔

一般にトンネルでは、地山条件や施工の段階に応じて、所定の間隔で計測断面を設けている。施工の初期の段階では挙動特性を早期に把握するために間隔を短くし、坑口や土被りが小さい区間でも間隔を短くする。地山深部に入って地山挙動が比較的安定した場合は間隔を 50m 程度までのばすなど、状況に応じて変更する。これらの目安を表 5.2.1-3 に示す。

表 5.2.1-3 天端沈下測定、内空変位測定の測定間隔の目安 (道路トンネルの例)

地山等級	条件	坑口付近 (坑口より 50 m 間)	土被り小 (2D 以下)	施工初期の段階 ¹⁾	ある程度施工の 進んだ段階(標準)
A, B, C		10 m	10 m	20 m	30 m ²⁾
D		10 m	10 m	20 m	20 m ³⁾
E		10 m	10 m	10 m	10 m

- 注 1) 施工の初期の段階とは、200 m 程度の施工が進むまでの段階。
 2) 地山挙動が安定した場合には 50 m 程度までのばすことができる。
 3) 地山挙動が安定した場合には 30 m 程度までのばすことができる。

超深地層研究所では、アクセスがすべて立坑であるため、坑口部でもすぐに土被りが大きくなり、地山深部に入る。したがって、土被りが小さい場合や、施工初期の段階の測定間隔を設定するのは適当ではない。一方、地山挙動が安定した場合の間隔で 50m 程度と想定すると、立坑の予備ステージ間に 1 断面しか設定されないことになり、監視体制としては疎となる。ここでは、トンネルの目安で「ある程度施工の進んだ段階(標準)」で、地山等級が A、B、C における間隔を採用し、30m を標準として設定

する。

主立坑の計測サイトの間隔は、反射ターゲットをコンクリート支保工の打ち継ぎ目の切欠き部に設置するため、コンクリート支保工の高さ 2.6m の整数倍となる。標準の 30m に近い値として、支保工 12 ステップ分で 31.2m 間隔を設定する。

換気立坑の計測サイトの間隔は、主立坑と同様の理由から、想定したコンクリート支保工の高さ 1.8m の整数倍となる。標準の 30m に近い値として、支保工 17 ステップ分で 30.6m 間隔を設定する。

水平坑道の計測サイトの間隔は、主立坑や換気立坑のような制約は受けないため、標準の 30m を設定する。

(c) 計測頻度の設定

トンネルにおける内空変位の計測頻度は、施工に伴う変位の収束を判断することが目的であるため、基本的には測定位置と切羽位置との離れ及び変位速度の関係によって定められる。また、変位が収束した段階で計測は終了される。計測頻度の事例を表 5.2.1-4 に示す。供用期間に入っている坑道は、測定位置と切羽の離れは 5D 以上であり、変位速度が 1mm/日を超える状態で供用されることは有り得ないので、当然 1mm/日以下である。したがって、これらから設定される測定頻度は、最大、1回/1週となる。

表 5.2.1-4 内空変位測定・天端沈下測定の測定頻度例

頻 度	測定位置と切羽の離れ	変 位 速 度	摘 要
2回/1日	0~0.5 D	10 mm/日以上	測定頻度は、変位速度より定まる測定頻度と切羽からの離れより定まる測定頻度のうち頻度の高い方を採ることを原則とする。
1回/1日	0.5~2 D	5~10 mm/日	
1回/2日	2~5 D	1~5 mm/日	
1回/1週	5 D 以上	1 mm/日以下	

注) D はトンネル掘削幅

一方、超深地層研究所における坑道維持のための内空変位測定では、掘削施工に伴う変位が終了した後も監視を継続することとなる点がトンネルの事例と大きく異なる点である。上述した青函トンネルの事例は、供用期間の内空変位測定という意

味で超深地層研究所の場合に参照することができる。これによると 1988 年から 1991 年までは、4 回/年の頻度で、それ以降は 2 回/年（一部 3 回/年）の測定頻度となっており、トンネルの事例と比較すると、1 オーダー低い頻度となっている。

計測頻度の設定で、最低限必要な頻度は、測定位置と切羽の離れより定まる測定頻度が変位速度より定まる測定頻度より低い場合となる。

掘削直後、計測サイトが完成した時点ですでに切羽はほぼ 1D 離れているため、掘削直後の計測頻度は 1 回/1 日、測定位置と切羽の離れ 2~5D で 1 回/2 日、5D 以上で 1 回/1 週となる。トンネル施工時の基準では、ここまでしか触れられていないが、概念を延長すると、変位速度が 1 mm/週以下で 1 回/1 月とする。

青函トンネルの事例では、2 回/1 年まで頻度を下げているが、超深地層研究所の目的を考慮すると、1 回/1 月の頻度を最低とするのが望ましい。

(d) 撮影方法

i) 基本的な撮影方法

精密写真測定の基本的な撮影方法は、任意の撮影位置から、まず複数の反射ターゲットが写るように撮影し、つぎにこの位置でカメラをほぼ 90° ずつ回転し、複数の反射ターゲットを撮影していく。このとき、撮影される反射ターゲットは何枚かがつねにオーバーラップして撮影されるようにする。被写体の中に、基準尺を配置しておき、撮影の際にこれも一緒に写しこむ。

撮影は、必ずストロボ撮影とする。これにより反射ターゲットが鮮明に撮影される。逆光となるような照明設備がある場合は、これを消灯するのが望ましい。

測定者が移動して撮影位置を変え、同様の手順で撮影を行う。

撮影位置は、定められた位置である必要はない。カメラの回転角は正確に 90° である必要はない。カメラを回転したときに撮影位置が多少変わっても問題ない。必ず決められた反射ターゲットが撮影される必要はない。すなわち、撮影方法に関して、制約条件がきわめて少なく、フリーハンドで撮影すればよい。

ここで重要なのは、撮影位置をなるべく数多く、距離を離して配置し、ネットワークを強くすることである。これにより、測定精度は向上する。

ii) 主立坑における撮影方法

主立坑では、人用キブルまたはスカフォードから撮影する。

人用キブルから撮影する場合、人用キブルは広くないので撮影位置の水平方向の移動距離が短いため、人用キブルの吊り下げ位置が1箇所だけでは、写真測定のネットワークが弱い。これを解決するために、人用キブルを数回移動し、吊り下げ位置を数段階設定し、撮影位置のパターンを増やしてネットワークを強くする。

スカフォードから撮影する場合、水平方向の撮影位置は幅広く設定できるため、一般に吊り下げ位置は1箇所に対応できる。

iii) 換気立坑における撮影方法

施工期間における撮影方法は、主立坑の場合と同様である。

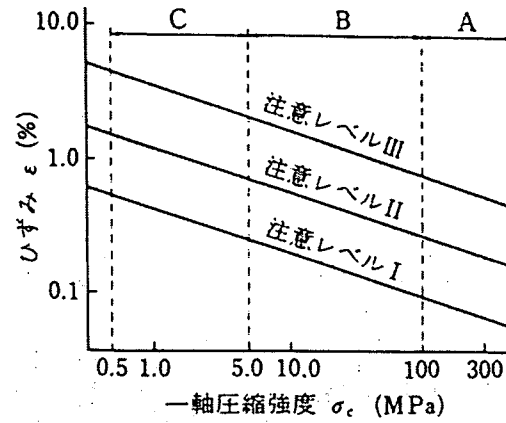
掘削終了後、昇降用エレベータが設置されるが、この場合は、立坑空洞内がエレベータから見通せる構造であれば、人用キブルの撮影方法と同様となる。エレベータから立坑空洞内を見通せない場合は、カメラをエレベータ外部に吊り下げ、リモート制御で撮影する必要が発生する。

iv) 水平坑道における撮影方法

水平坑道では、撮影位置の制約が立坑に比較して小さいため、さまざまな撮影位置から撮影し、ネットワークを強くすることが可能である。超深地層研究所の水平坑道は小断面であるため、人間の身長でも十分であるが、場合によっては踏み台等を用いて高さ方向の位置を変える。

(e) 管理基準の設定

管理基準は、破壊ひずみや限界ひずみなどを考慮して設定する。



天端沈下の管理基準値
(トンネル半径：5.00m)

等級 レベル	A	B	C
I	0.3~0.5	0.5~1	1~3
II	1~1.5	1.5~4	4~9
III	3~4	4~11	11~27

(単位：cm)

図5.2.1-16 天端沈下に対する管理基準

図5.2.1-16に、破壊ひずみに着目した天端沈下の管理基準の例を示す。一般に、硬岩になるほど低いひずみで注意レベルが設定されている。

これらのひずみは室内試験等で調査する。また、原位置のひずみ量は、測定開始時点ですでにある程度の変形が進行しているため、これらを考慮して設定する。以下、1例を示す。

- 岩盤の破壊ひずみ ϵ_r (%) : 0.3%
- 測定開始後の破壊ひずみ $0.7 \times \epsilon_r$ (%) : 0.21%
- 主立坑の半径 r : 3,250mm
- 主立坑の管理基準値(半径) : $3,250 \times 0.21\% = 6.825 \approx 7$ mm
- 主立坑の管理基準値(直径) : $7 \times 2 = \underline{14}$ mm

これらの管理基準は、

- ・施工から内空変位測定を継続していること、
- ・地質に応じた破壊ひずみを調査し設定すること、
- ・測定開始後の破壊ひずみを適切に設定すること

が重要である。

(f) 立坑及び水平坑道の定常的測定監視計画例

上述の検討を基に、超深地層研究所における精密写真測量による立坑及び水平坑道の定常的測定監視計画例を作成した。

なお、1計測サイトにおける撮影枚数は、20枚程度に設定した。これに伴い、1計測サイトにおける測定時間は、移動時間及び予備時間を含めて、立坑で0.5時間、水平坑道で0.33時間とした。

表5.2.1-5に設定項目の一覧と計測サイト数及び測定時間の検討結果を示す。

主立坑の計測サイト数は34点、換気立坑は32点、水平坑道は83点で、計測サイト数の合計は149点となる。

これらのすべての計測サイトを1回測定するのに要する時間は、60.4時間となる。

1日の作業時間を8時間 \times 2=16時間とすると、すべての計測サイトを1回測定するのに要する日数は、3.8日となる。

表 5.2.1-5 設定項目とサイト数及び測定時間の検討

項目	数量	単位
標準サイト間隔	30	m
主立坑内径	6.5	m
主立坑ピッチ	2.6	m
主立坑計測サイト間隔	31.2	m
主立坑計測サイト数	34	
主立坑計測時間	0.5	h
換気立坑内径	4.5	m
換気立坑ピッチ	1.8	m
換気立坑計測サイト間隔	30.6	m
換気立坑計測サイト数	32	
換気立坑計測時間	0.5	h
水平坑道内径	3	m
水平坑道ピッチ	1	m
水平坑道計測サイト間隔	30	m
水平坑道計測サイト数	83	
水平坑道計測時間	0.33	h
総サイト数	149	
1日計測時間	16	h
全計測時間	60.39	h
全計測日数	3.8	d

図 5.2.1-17 に立坑及び水平坑道の定常的測定監視計画例の工程を示す。

これによると、立坑がほぼ完成する 2008 年度までに、80 点の計測サイトが設定され、2015 年初めに全数の 149 点が設定される。内訳としては、2008 年度までに設定される計測サイトは、立坑が圧倒的に多い。

精密写真測量の適用により、計測頻度が 1 回/1 週となった場合にも、対応できることがわかった。これらは、スチールテープや光学機器・光波測距儀を用いた測定に比較して、十分に短時間である。また、測定方法が簡便であり、測定者に特別な技術を必要としないことから、超長期にわたる継続的な計測に適していることがわかる。

年	2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2013 2014 2015												計測サイト数				
	掘削延長 (m)	[Gantt Chart Data]															
主立坑	500	17															17
	427			14													14
	93										3						3
換気立坑	500	17															17
	450			15													15
	180			6													6
中間ステージ	292+178							16									16
	265								9								9
	360							12									12
最深ステージ	371											13					13
	453												16				16
	39.5 × 8																11
立坑合計	1970	34/34		29/63			0/63					0/63					66
水平坑道合計	2415	9/9		8/17			28/45					22/67					83
総合計	4385	43/43		37/80			28/108					22/130					149

表示例
 上段:掘削期間
 下段:サイト数
 (新たに設定される計測サイト数)/(累積計測サイト数)

図 5.2.1-17 立坑及び水平坑道の定常的測定監視計画の例

(g) 精密写真測量のメンテナンス

立坑及び水平坑道の掘削では、発破、吹き付けコンクリート及び重機の排気ガスなど、粉塵の発生は避けられない。精密写真測量で使用する反射ターゲットは、これらの粉塵によって汚損されると考えられる。反射ターゲットの表面が汚損されると、正確な位置出しができなくなるため、測定精度が低下する。このため、汚損された反射ターゲットは洗浄する必要があるが、この作業に対して、次のような対策を講ずる。

- ・ 反射ターゲットは、セラミック等の高強度材料をベースとし、繰り返し洗浄されても劣化しない構造とする。
- ・ 洗浄は、洗浄液の噴霧と圧縮空気による乾燥で行う。立坑では、スカフォード、人用キブル及びエレベータからの作業となるため、ポータブルな洗浄装置を使用する。
- ・ 洗浄の必要性の有無は、測量結果の解析作業において、大誤差が検知された反射ターゲットに着目して実施する。洗浄により、誤差が減少すれば汚損されていたことがわかる。洗浄しても誤差が減少しない場合は、実際に変位している可能性が高いので、精査が必要となる。
- ・ 洗浄で対応できない場合は、新しい反射ターゲットを増設する。精密写真測量のメリットは、測点を容易に増設できることである。

5.2.2 立坑覆工コンクリートの安定性の維持管理

(1) 立坑覆工コンクリートの耐久性向上対策

(a) 立坑覆工コンクリートの劣化要因

コンクリートの耐久性を損なう劣化外力には、塩害、中性化、化学的腐食、アルカリ骨材反応などの化学的なものと、凍害、すりへり作用などの物理的なものがある。

塩害とは、コンクリート中に浸入した塩化物イオンの作用により鉄筋が腐食し、コンクリート構造物に損傷を与える現象である。また中性化とは、空気中の炭酸ガスの作用を受けて、コンクリート中の水酸化カルシウムが徐々に炭酸カルシウムになり、コンクリートのアルカリ性が低下する現象である。鉄筋の周囲を包んでいるコンクリートが中性化し、水や空気が浸透してくると鉄筋が腐食し、コンクリート構造物の耐荷性や耐久性が損なわれる。

したがって、塩害や中性化は、無筋コンクリートである立坑覆工コンクリートでは問題にならないと考えてよい。さらに、立坑という環境を考えた場合には、凍害やすりへり作用などについても問題にはならないと考えられることから、立坑覆工コンクリートの劣化要因としては、アルカリ骨材反応及び化学的腐食が考えられる。

(b) コンクリートのアルカリ骨材反応

i) 概要

アルカリ骨材反応とは、コンクリートの細孔溶液中の水酸化アルカリ(KOHやNaOH)と、骨材中のアルカリ反応性鉱物との間の化学反応のことであるが、一般には反応生成物(アルカリ・シリカゲル)の生成や吸水に伴う膨張によってコンクリートにひび割れが発生する現象をいう。T.E. Stantonによって1940年にはじめて報告され、わが国でも1950年頃から調査報告はあるが、1980年代に入ってアルカリ骨材反応による早期劣化が顕在化した。

アルカリ骨材反応は、アルカリシリカ反応、アルカリ炭酸塩反応、アルカリシリケート反応の3つに分類されているが、通常わが国でアルカリ骨材反応といわれているものは、アルカリシリカ反応をさすことが多い。アルカリシリカ反応が進むと、コンクリート構造物にはひび割れ、ゲルの滲出、目地のずれなどが生じる。ひび割れの発生は、膨張の拘束度合いにより異なり、拘束の小さな無筋コンクリート構造物などでは亀甲状のひび割れが生じる。

ii) 対策

建設省は、土木構造物に使用するコンクリートについて、アルカリ骨材反応を抑制するため、次の4つの対策の中の何れか1つをとらなければならないとしている。

①安全と認められる骨材の使用

骨材のアルカリシリカ反応性試験（化学法またはモルタルバー法）の結果で無害と確認された骨材を使用する。

②低アルカリ形セメントの使用

JIS R 5210 ポルトランドセメントに規定された低アルカリ形セメントに適合したセメントを使用する。

③抑制効果のある混合セメント等の使用

JIS R 5211 高炉セメントに適合する高炉セメント（B種またはC種）、あるいは JIS R 5213 フライアッシュセメントに適合するフライアッシュセメント（B種またはC種）、もしくは混和材を混合したセメントでアルカリ骨材反応抑制効果の確認されたものを使用する。

④コンクリート中のアルカリ総量の抑制

アルカリ量を表示されたポルトランドセメント等を使用し、コンクリート 1 m^3 に含まれるアルカリ総量を Na_2O 換算で 3.0 kg 以下にする。実際には、セメントのアルカリ量（ Na_2O 換算値） \times 単位セメント量 $+ 0.9 \times \text{CA}^-$ （塩化物イオン量 kg/m^3 ） $+$ 混和剤中に含まれるアルカリ量が $3.0\text{ kg}/\text{m}^3$ 以下であることを計算で確認する。防錆剤等使用量の多い混和剤を用いる場合にも本式を用いて計算すればよい。なお、AE 剤、AE 減水剤等のように、使用量の少ない混和剤を用いる場合には、簡易的にセメントのアルカリ量だけを考慮して、セメントのアルカリ量 \times 単位セメント量が $2.5\text{ kg}/\text{m}^3$ 以下であることを確かめればよいものとする。

また、JIS A 5308 レディーミクストコンクリート附属書 6「セメントの選定等によるアルカリ骨材反応の抑制対策の方法」では、アルカリシリカ反応性試験の結果が無害と判定されない骨材、またはこの試験を行っていない骨材をレディーミクストコンクリート用骨材として用いる場合のアルカリ骨材反応抑制対策の方法として、上記の②～④を規定している。なお、アルカリシリカ反応性試験は、原則として化学法で行い判定する。この結果、無害でないとして判定された場合は、モルタルバー法による試験を行って判定する。また、化学法による試験を行わない場合は、モルタルバー法によ

る試験を行って判定してよいとしている。

ただし、アルカリ反応性骨材は、我が国に広く分布しているため、①の無害骨材の選定による対策をとると地域によっては骨材不足等、かなり深刻な問題になることも考えられる。また、試験の頻度やサンプリング等について考慮しなければならない事項も多い。そこで、一般のコンクリートでは③または④の対策をとることが望ましいといわれている。アルカリシリカ反応性骨材の分布図を図5.2.2-1に示す。

(c) コンクリートの化学的腐食

i) 概 要

コンクリートの化学的腐食とは、外部環境より各種化学物質がコンクリートに浸入し、コンクリート自体と化学反応を起こすことによりコンクリートを劣化させる現象である。コンクリートを化学的に侵食する物質は、その侵食のメカニズムからみて大きく2つに分けることができる。

一つは、本来水には溶けにくいセメント水和物を可溶性の物質に変えてしまうことにより、コンクリートを劣化、崩壊させるものであり、大多数の酸、ある種の動植物油、ある種の無機塩類、硫化水素や亜硫酸ガスなどの腐食性ガスなどがこれに相当する。もう一つは、硫酸塩に代表されるものであり、新たな化合物をつくる際に膨張を伴い、その膨張圧によってコンクリートを劣化させるものである。

コンクリートを化学的に侵食する主な物質を表5.2.2-1に示す。また、コンクリートを腐食する気体には表5.2.2-2に示すようなものがある。

- 反応性試験の対象としなかった岩体（新第三紀よりも新しい堆積岩類）。
 - ◻ 反応性のある岩石をほとんど含まない岩体（深成岩類、漸新世よりも古い火山岩類）。
 - ▨ 岩型によっては反応性のある岩石を含むおそれのある岩体（古第三紀よりも古い堆積岩類、変成岩類）。
 - ▩ 反応性のある岩石が高率で含まれるおそれのある岩体（中新世よりも新しい火山岩類）。
- なお、図示していない地域は今回未調査あるいはコンクリート用砕石を生産していない地域である。

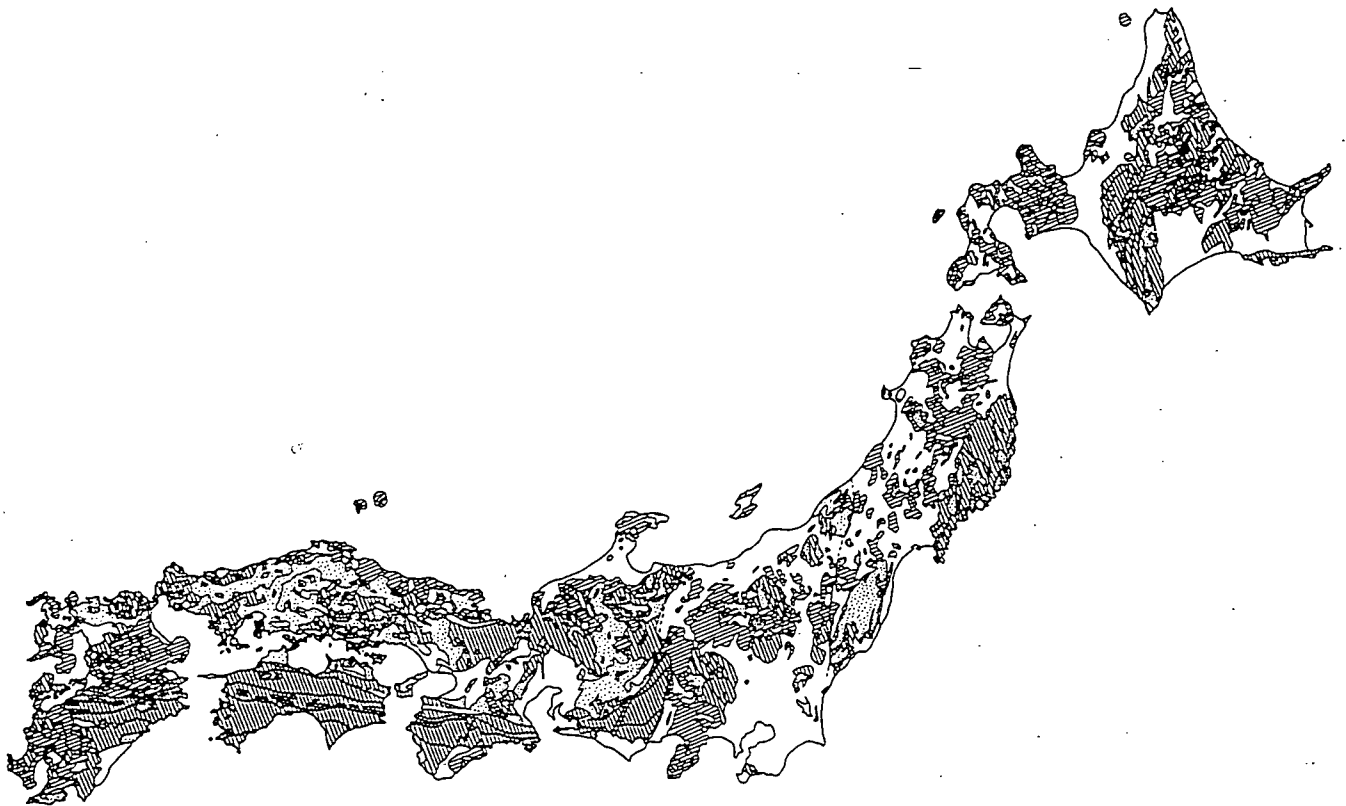


図5.2.2-1 アルカリシリカ反応性骨材の分布図

表 5.2.2-1 コンクリートを化学的に侵食する主な物質

非常に激しい侵食	かなり激しい侵食	徐々に侵食	ある条件のもとでは侵食	ほとんど侵食しない
<p>硝酸 塩酸 フッ酸 炭酸 硫酸 亜硫酸 水酸化カリウム 水酸化アンモニウム 水酸化ナトリウム 硝酸アンモニウム 硫酸アンモニウム 硫酸コバルト 硫酸銅 硫酸カルシウム 塩化第一鉄 硫酸アルミニウム 硫酸ナトリウム 硫酸ニッケル 硫酸亜鉛 硫酸マグネシウム 硫酸マンガン アザラン油 サメの肝油 鯨油 タラの肝油 羊の胆の油 馬の胆の油 リンゴ酒 ホルマリン溶液 尿汁(あく)</p>	<p>食酢 フミン酸 炭酸 石炭酸類 りん酸 乳酸 タンニン酸 酪酸 没食子酸 ぎ酸 酒石酸 オレイン酸 ステアリン酸 パルミチン酸 塩化マグネシウム 塩化第二水銀 塩化第一鉄 塩化亜鉛 塩化銅 塩化アンモニウム 塩化カルシウム 硝酸ナトリウム 硝酸カルシウム 硝酸アンモニウム 硝酸水素カルシウム 硝酸ナトリウム 硝酸アンモニウム 硝酸石 クレゾール フェノール キシロール</p>	<p>消毒用せっけん液 セリゲン油 大豆油 アモンド油 桐油 ピーナッツ油 クルミ油 亜麻仁油 牛脂 ラード ガチョウ油 牛の骨ずい 水酸化アンモニウム 酢酸アンモニウム ソーダ水 コンシンロップ 乳漿 チリ硝石 ブドウ糖 みょうばん ココアバター ココア豆 コーヒード 亜硫酸水素カルシウム フタル酸塩 硫酸ナトリウム 亜硫酸ナトリウム 亜硫酸水素ナトリウム チオ硫酸ソーダ</p>	<p>炭酸カリウム 炭酸アンモニウム 炭酸ナトリウム 洗たくソーダ 塩化カリウム 塩化ストロンチウム 塩化ナトリウム 塩化カルシウム 次のものは、空気にさらされるとかなり激しく侵食する。 綿実油 オリーブ油 ナタネ油 ひまし油 からしな油 ヤシ油 空気にふれずに発酵させた牧草はコンクリートを徐々に侵食する。 新鮮な牧草はそれほどでもない。 砂粒の溶液と精製された硫酸は、濃度が高いと侵食する。未精製の硫酸はそれほどでもない。 重炭酸ソーダは濃度が高いときのみ侵食する。 ミルクまたはバターミルクは、腐敗すると硫酸ができるため侵食する。 尿は新しいときには侵食しないが、古くなると多少侵食する。 グリセリンは4%以下の濃度であれば、材令の進んだコンクリートは侵食しない。 シンダーや石炭は腐蝕が加わらなければ、わずかに侵食するのみである。</p>	<p>しゅう酸 硝酸カルシウム 過マンガン酸カリウム すべてのけい酸塩 パラフィン ピッチ コールタール ベンゼン カルボゾール アントラセン クミン アリザリン トルエン すべての石油または鉱油 ロジン油 テレピン油 ニシン油 牛の脚油 骨油 ケシ油 アルコール さらし粉 塩水 ほう砂 ほう酸 フルーツジュース ワイン タンニンリカー 砂糖きび、砂糖大根 蜂蜜 バルブ キャベツの塩漬 糖蜜 酢酸ナトリウム 10%以下の水酸化ナトリウム 10%以下の硝酸アルカリ、硝酸カルシウム 新鮮なビール</p>

表5.2.2-2 コンクリートを侵食するガス

侵食の程度	ガスの種類		濃度 (g/l)
激しい侵食	亜硫酸ガス	SO ₂	0.1~0.5
	ふっ化水素	HF	0.05~0.2
	一酸化窒素	NO	0.025~0.125
	塩化水素	HCl	0.01~0.05
	塩素	Cl ₂	0.001~0.005
かなりの侵食	亜硫酸ガス	SO ₂	0.02~0.1
	ふっ化水素	HF	0.01~0.05
	硫化水素	H ₂ S	>0.01
	一酸化窒素	NO	0.005~0.025
	塩化水素	HCl	<0.01
	塩素	Cl ₂	<0.001
弱い侵食	ふっ化けい素	SiF ₄	>0.001
	亜硫酸ガス	SO ₂	<0.02
	ふっ化水素	HF	<0.01
	硫化水素	H ₂ S	<0.01
	一酸化窒素	NO	<0.005

ii) 対策

立坑覆工コンクリートが化学的腐食を生じる場合、腐食物質は地下水から供給されることが考えられるが、地下水の成分が明らかではないため、その物質を特定することはできない。そこで、ここでは一般的な防食対策について記述することとする。

化学的腐食環境にさらされるコンクリート構造物の設計の考え方としては、以下のものが挙げられる。

- ①化学的腐食の速度を考慮して、耐用年数に見合う分だけ、コンクリートを増し打ちする（腐食しろをとる）。
- ②コンクリート自体を化学的腐食に強いものとする。
- ③コンクリートを化学的腐食物質から遮断する。

①及び②の方法は一般に比較的腐食環境が弱い場合、例えば、弱酸性の環境などには有効である。また、硫酸塩による侵食に対しては、②の方法がよく採用される。

腐食環境が強い場合、例えば、酸性の強い環境などでは、化学的腐食に強い他の材料で被覆することにより、コンクリートを化学的腐食物質から遮断するという③の方法を採用することが必須の条件となってくる。

コンクリート自体の耐食性を向上させる方法としては、水セメント比の低減やシリカフュームの添加などがある。水セメント比の低減は、コンクリート硬化体の組織を

緻密化させ、腐食性物質の浸透を抑制する。コンクリート標準示方書では、 SO_4 として0.2%以上の硫酸塩を含む土や水に接するコンクリートの水セメント比を50%以下としている。

シリカフュームは、フェロシリコンやシリコンメタルなどを製造する際に副生する粒径が $1\mu m$ 以下の球形のシリカ質粉末である。セメントと混合して使用すると、セメントが水和してできる水酸化カルシウムと反応してカルシウムシリケートハイドレートをつくることにより、緻密な硬化体組織をつくる。フライアッシュより比表面積が大きいので、フライアッシュに比べ著しく反応性が高い。

(d) 立坑覆工コンクリートの耐久性設計

立坑覆工コンクリートの置かれる化学的環境については明確になっていないが、コンクリートの耐食性の向上を考慮すれば、コンクリートの水セメント比を50%以下とし、シリカフュームをセメントの内割で10%程度混和することが考えられる。

また、シリカフュームには、アルカリ骨材反応の抑制効果も期待できることから、コンクリートのアルカリ骨材反応対策としても利用できる（対策③抑制効果のある混合セメント等の使用に相当）。ただし、その効果は骨材の種類、シリカフュームの種類や添加量によっても異なるため、事前の検討が必要である。

(2) 立坑覆工コンクリートの劣化モニタリング

(a) 概要

立坑覆工コンクリートの劣化モニタリングは、既存の昇降設備を利用して行うことが考えられ、非破壊かつ非接触で行える方法が要求される。また、立坑覆工コンクリートの劣化現象としては、ひび割れ、剥落、漏水などが考えられることから、劣化モニタリングの方法としては、写真画像による方法、赤外線法及びレーザ法が考えられる。なお、参考として、日本道路公団におけるトンネル覆工コンクリートの調査方法の評価を表5.2.2-3に示す。

表 5.2.2-3 トンネル覆工コンクリートの調査方法の適用性

検査法		検査対象物		1	2	3
		覆工表面のひび割れ 坑門表面のひび割れ (舗装表面のひび割れ)		深さ	長さ・幅	覆工コンクリートの 浮き・空洞 (コンクリート舗装 の版の浮き、空洞)
非 破 壊 検 査	①目視検査				◎	△
	②反発硬度法					
	③超音波法		△			▲
	④電磁波法					○
	⑤電磁誘導法					
	⑥レーザー法				◎	
	⑦写真画像による方法				△	
	⑧赤外線法				▲	△
	⑨打撃法・打診法					△
局 部 破 壊 検 査	⑩アンカー引抜き法					
	⑪自然電位法					
	⑫分極抵抗法					
	⑬ハンマドリルによる資料採取法					
	⑭コア採取による方法			◎		◎

評価基準 ◎：高精度で実用レベルに達している方法
 ○：高能率で実用レベルに達している方法
 △：実用レベルに達している方法
 ▲：原理的には適用可能だが、精度、効率、費用等に問題がある方法
 無記入：適用できない方法

(b) 写真画像による方法

写真画像による方法は、写真やビデオ画像を用いてコンクリート表面の状態を観察する方法である。また、その画像をデジタル画像処理することによって、ひび割れの長さや幅を計測することができる。写真画像処理システムの基本構成を図5.2.2-2に示す。

撮影装置には、スチルカメラ（銀塩写真）や最近では高解像のデジタルスチルカメラを使用することができる。また、ビデオカメラでの撮影も可能である。

スチルカメラで撮影し、現像したフィルムやプリントした印画紙を画像処理装置に入力するためには、スキャナ等でデジタル画像に変換する必要がある。デジタルスチルカメラで撮影された画像はすでにデジタルであるため、この処理は不要となる。また、ビデオカメラでの撮影画像も、画像処理装置はビデオ信号を標準の入力信号としており、別途デジタル変換の必要はない。

画像処理装置は、大容量の画像データを高速に処理する必要があるため、従来は EWS

やミニコンベースの汎用画像処理システムが使われていた。しかし、急速な CPU の高速化、メモリサイズの大容量化等によって高性能、低価格パソコンが登場するに至り、最近ではパソコンのアプリケーションの一部として画像処理が行われている状況である。ひび割れ画像処理の目的とする項目を以下に示す。

①画像歪みの修正

コンクリート表面写真は、カメラ光学系による歪みはもちろんのこと、対象面に正対して撮影することは困難である。このため、実際には正方形の面でも歪んだ形になってしまう。また、通常1枚の写真でコンクリート表面全域を撮影し計測することは精度や分解能の点で難しく、複数の写真をつなぎ合わせて計測することになるが、隣接した写真データをつなぐためにもこれらの歪みを調整する必要がある。

②ひび割れの抽出

コンクリート表面の写真・画像にはひび割れ以外に汚れや変形、撮影時の陰影等も一緒に撮影されている場合が多く、これら画像上のノイズを除去してひび割れを抽出する処理が必要となる。

③特徴量の算出、処理結果の出力

ひび割れが抽出された画像データから、ひび割れ長さ、ひび割れ幅等のひび割れパラメータを算出する。また、計測した各パラメータを表示する。

なお、画像処理によって行うひび割れ計測では、計測精度、分解能・解像度が問題になるが、現状では、ひび割れの有無検出及び長さの計測は1/4画素、ひび割れ幅計測は1画素以上のひび割れが計測できると考えられている。例えば、縦横1mの大きさを1,000×1,000画素で撮影すると1画素は1mmに相当する。

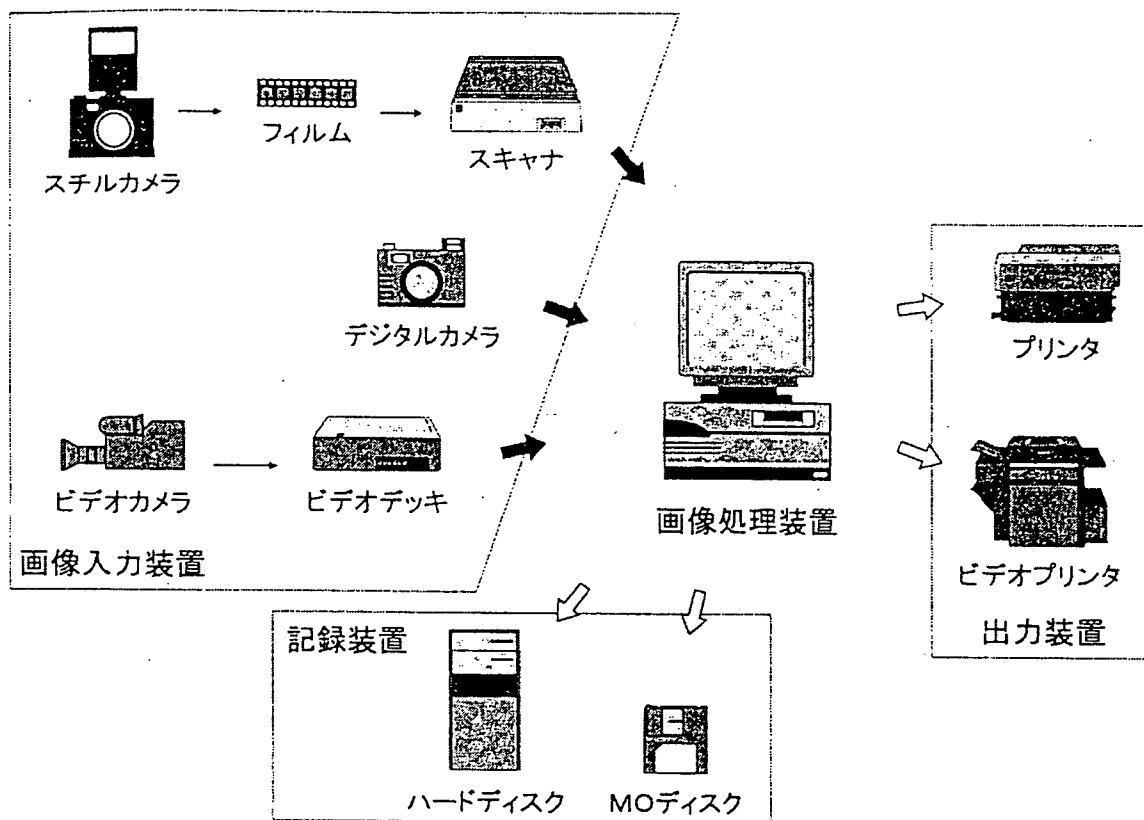


図5.2.2-2 写真画像処理システムの基本構成

(c) 赤外線法

赤外線は、電磁波の一種で、物体の温度が絶対零度以上のとき、原子と分子の振動回転によって放射される不可視光である。コンクリートの内部検査のための赤外線の応用としては、物体から放射される赤外線の強さからその表面温度を測定する方法と、物体に赤外線を照射してその反射吸収特性を測定する方法とがある。

前者は、最近、サーモグラフィー法という名称で、建物の表面温度の分布状況から、仕上げモルタル・タイルの剥離箇所、漏水箇所などの調査に幅広く活用されるようになった。この方法の最大の特徴は、欠陥部が視覚的に観察できることにあるが、熱源が太陽光の場合は、調査時の気象条件や対象建物周辺の熱線反射物などの影響を十分に考慮しないと、精度のよい診断は困難である。また、トンネル内のように熱源として太陽光が利用できない場合は、ヒータによる熱照射を行うことによって欠陥部を推定することができる。

後者は、物体に光線を照射した場合、物性に応じて光線の反射吸収特性が相違することを利用して物性変化の状況を調査する方法で、特定の光波帯の光線のみを通過さ

せるバンドパスフィルターと、それぞれに感光するフィルムを使用したマルチスペクトル法と呼ばれる検査方法などがある。しかし、コンクリートの内部探査法として実用化するには、今後さらに研究を進める必要がある。

赤外線サーモグラフィは、物体表面から放射される物体温度に対応した赤外線エネルギーを半導体検知器を用いた赤外線センサーで計測し、これを温度分布に換算・画像化して表示する装置であり、この温度分布の変化からコンクリート構造物・部材の表層部変状を検出する熱的非破壊検査法である。

コンクリート構造物・部材の表面温度は、周辺環境温度の変化あるいは人工的加熱（冷却）によって変化する。この表面の温度変化は、構造物・部材の断面形状、表面状態の変化、連続性の有無などのほか、コンクリートの比熱、熱伝導率などの熱的特性の相違などによって異なる。コンクリートの内部空隙、剥離部、ひび割れなどの変状は、コンクリート中の熱伝導に対して断熱効果を有しているため、表層部の温度分布に影響する。そのため、対象の構造体コンクリート表面の温度分布あるいはその変化を検出できれば、温度分布変化の原因となっている欠陥を同定することが可能となる。

赤外線サーモグラフィ法の一般的な特徴として、次のようなものが挙げられる。

- ①非接触による検査のため、特別な足場を必要とせず、しかも短時間に広範囲にわたる検査が可能である。
- ②表層部欠陥の位置・形状が温度分布画像から視覚的に同定できるが、その存在深さと厚さは測定できない。また、欠陥部が深くなると発見が難しくなる。
- ③装置は高価であるが、赤外線センサー、赤外線映像装置、必要な場合の加熱（冷却）装置以外の特別な検査設備・装置を必要としない。
- ④撮像時に適切な環境条件が必要である。
- ⑤赤外線映像装置による表面温度の測定値は、必ずしも正確ではない。
- ⑥撮像時の環境条件（温度勾配、日陰と日照、天候条件、表面の水分状態）が異なると、結果が異なることがある。
- ⑦測定対象物の形状や立地条件によっては、適切な距離あるいは角度からの測定が困難なことがある。
- ⑧撮像データの解釈には、熟練が必要である。
- ⑨表面色のばらつき及び表面に付着した汚れによる表面温度差と表層部変状に

よる表面温度差の判別が難しいことがある。

⑩建築物の場合には、室内の空調の影響を受け、さらに窓枠や手すりなどの異種材料間の接触部あるいはベランダなどの凹凸部への適用が難しい。

(d) レーザ法

レーザ法は、コンクリート構造物の非破壊検査としてトンネル覆工や高架橋床版のひび割れ調査、また、コンクリート構造物以外では舗装路面の性状調査等で実用化されている。ここでは、レーザ法の計測原理と、トンネル覆工のひび割れ調査を目的に実用化されたトンネルレーザ画像計測システムについて紹介する。

レーザ法では、フライングスポット法を用いている。フライングスポット法とは、図5.2.2-3に示すように、レーザ光線を細いビームスポットにしてポリゴンスキャナ等を用いて走査させ、計測対象物からの反射光量の強弱を順次検出する方法である。反射光量は光センサによって受光し、電気信号に変換して記録装置に収録する。レーザ光線を主走査することにより1走査線分の反射強度の分布が得られる。ここで、ひび割れ部分の信号が低下しているのは、レーザ光線がひび割れにより乱反射して反射光量が低下するためであり、その他の部分は表面状態に応じた信号が出力される。延長方向は副走査（車が移動）することで順次収録していく。画像の再生は、得られた反射光量の強弱をモノクロの濃淡画像に変換し、モニタ上で原位置座標に配置することで、計測ピッチに見合った精度の精密画像が得られる。この画像計測法の特長は以下のとおりである。

- ①広範囲を連続的に計測が可能であり、例えばトンネル内面の連続展開画像が得られる。
- ②計測範囲の大小に限らず分解能は同一である。
- ③計測時に照明の必要がない。

トンネルレーザ画像計測システムは、レーザ計測車とデータ処理システムから構成されている。トンネルレーザ画像計測システムの全体ブロック図と成果品を図5.2.2-4に示す。

レーザ計測車は、トンネル覆工コンクリートの表面性状を超高速デジタル記録するものであり、トンネル現況の客観的データの収録が可能である。レーザ計測車からレーザスキャニングユニットにてレーザ光線を高速走査させながらトンネル覆工のコ

ンクリート表面に照射し、その反射光量を車上に設置した4台の超高速・高感度の光センサで受光する。光センサの出力は電気信号に変換して増幅し、信号処理装置にて信号合成する。この信号は、インターフェースにて距離信号等とともにデジタル変換し、超高速のデータレコーダにデジタル記録する。記録したデータは同時再生され、リアルタイムに画像変換装置で256階調のモノクロ画像に変換してモニタ上に表示する。表示された画像データは、必要によりビデオプリンタに出力される。レーザ計測車の主要諸元を表5.2.2-4、外観図を図5.2.2-5に示す。計測方法は、通常2車線のトンネルであれば1車線ずつ、2回必要な交通規制を行い、約4km/hの速度で計測車を走行しながら計測を行う。ひび割れ幅の確定精度は0.5mmであり、条件によっては0.5mm以下のヘアークラックの認識も可能である。

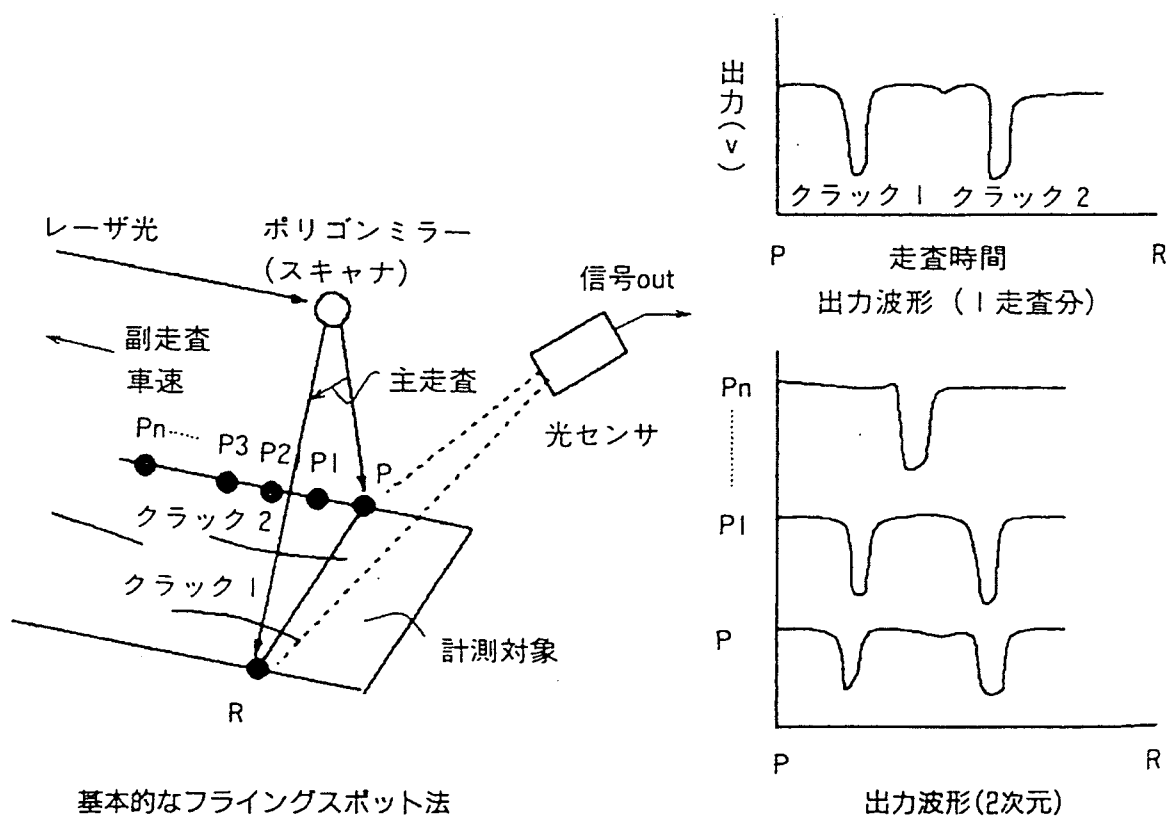
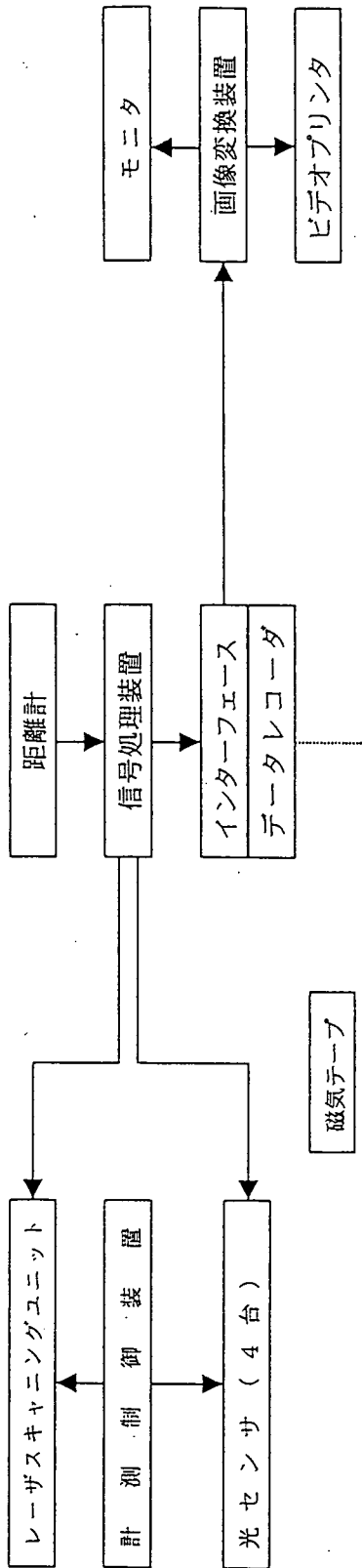


図5.2.2-3 レーザ画像計測原理

<レーザ計測車>



<データ処理システム>

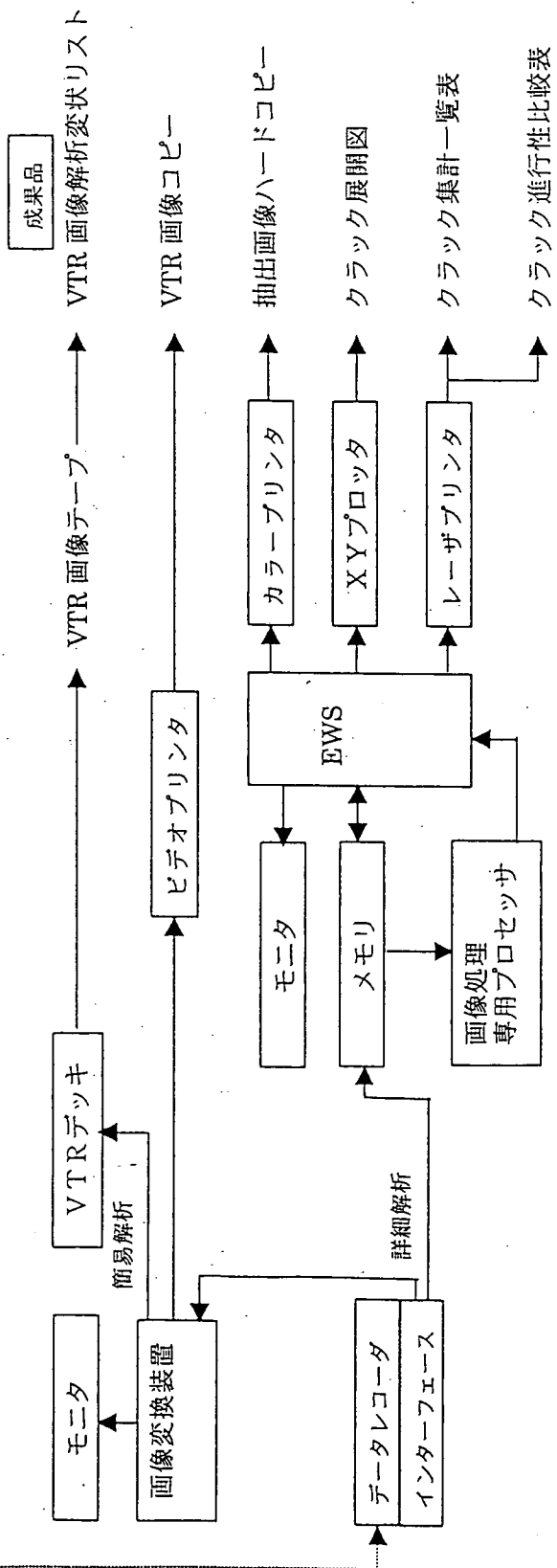


図5.2.2-4 トンネルレーザ画像計測システムの全体ブロック図と成果品

表 5.2.2-4 レーザ計測車の主要諸元

計測車両	車両寸法	全長 6.90m 全幅 2.49m 全高 3.68m (光センサ収納時)
	車両総重量	約 11t
	乗車定員	4名 (所要人員: 運転1名、計測1名)
使用レーザー	Ar イオンレーザー、最大出力 4W	
データ記録速度	最大 32M バイト/秒	
対象トンネル	天頂部高さ 5m 以上の各種トンネル [対象例] 建設省・日本道路公団の道路トンネル、JR・地下鉄の鉄道トンネル、その他	
クラック幅確定精度	0.5mm (標準)	
計測速度	4km/h (標準)	

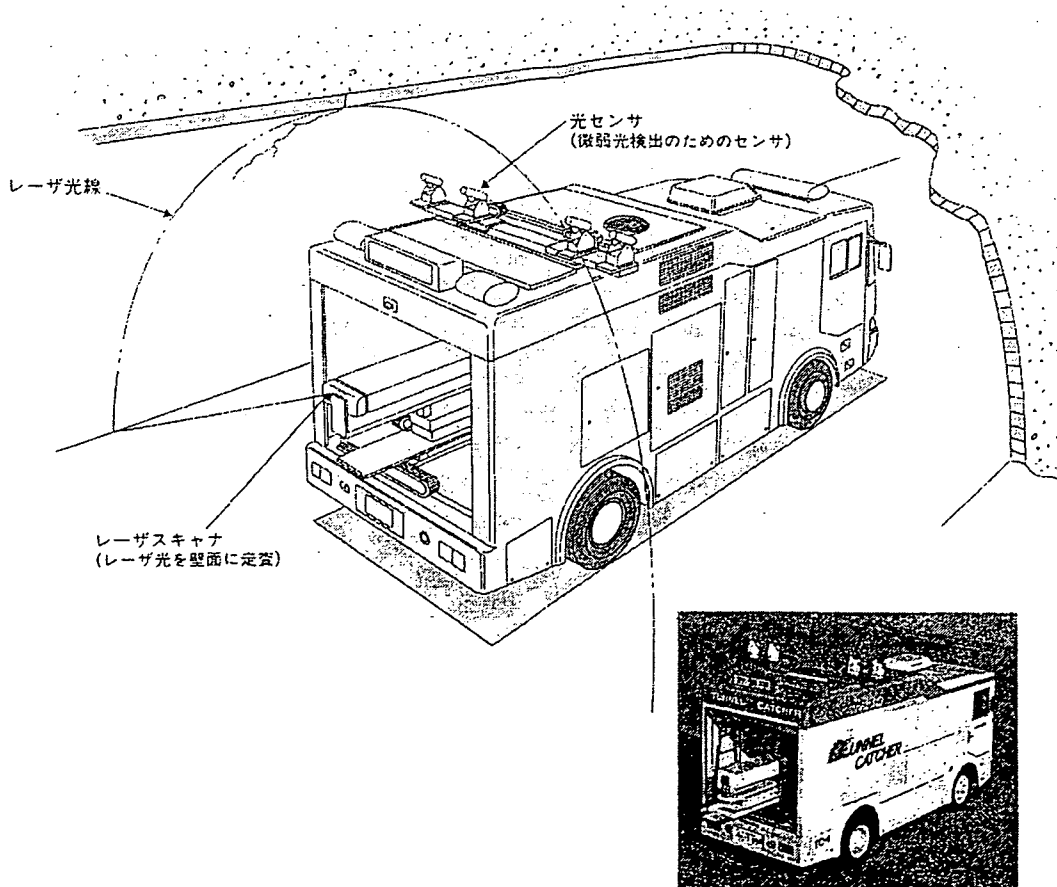


図 5.2.2-5 レーザ計測車の外観図

(e) 立坑覆工コンクリートの劣化モニタリング方法

立坑覆工コンクリートの劣化モニタリングの方法として適用が可能と考えられる写真画像による方法、赤外線法及びレーザ法について調査し、その概要をまとめた。ここでは、その適用性について検討を行う。

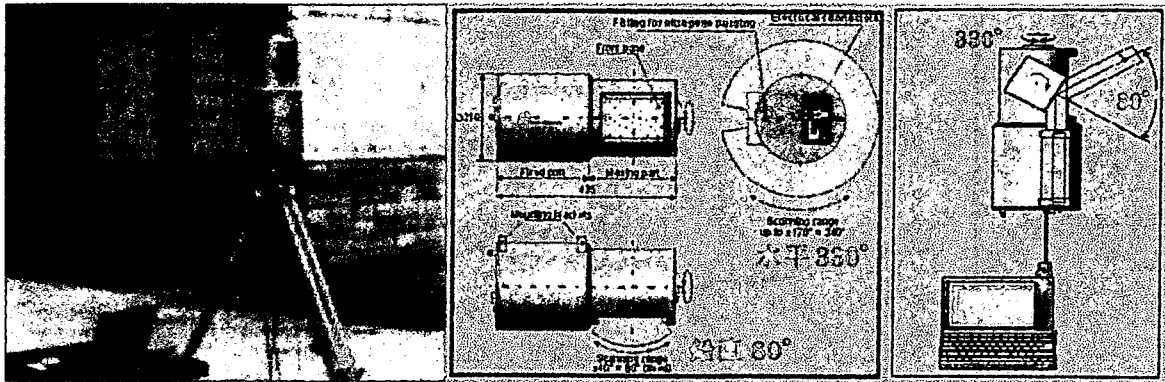
写真やビデオ画像によるコンクリート表面の目視観察は、比較的簡易な装置で行えるため、適用性は高い。しかし、デジタル画像処理によるひび割れ長さや幅の計測については、精度的に撮影範囲を狭くする必要があり、画像処理に膨大な時間を要するため、適用性は低いと考えられる。

赤外線サーモグラフィ法は、撮像データの解釈に熟練を要すること、また、ひび割れは原理的には検出可能であるが、精度的に問題があるといわれていることから、適用性は低い。

レーザ法は、広範囲を連続的に計測することが可能であること、計測範囲の大小に限らず分解能が同一であることなどの特長を有し、精度及び効率の面から最も適用性が高い。しかし、前項で紹介したトンネルレーザ画像計測システムにおける計測装置は大型であり、そのままでは立坑覆工コンクリートの劣化モニタリングに適用することはできない。

そこで、レーザ計測装置の小型化が必要になるが、図5.2.2-6に示すような地物形状計測に用いられる3次元レーザスキャナの利用が考えられる。この3次元レーザスキャナは、計測用パルスレーザを水平・垂直両方向に高速スキャニングさせ、対象物に反射して帰ってきたレーザの時間と方向を計測することで、対象物の三次元座標を求めるものである。また、同時にRGBの色情報を取得でき、写真画像も生成できる。3次元レーザスキャナの仕様を表5.2.2-5に示す。

ただし、この計測システムは、コンクリートの非破壊検査用に開発されたものではないため、計測精度の検討やデータ処理システムの改良が今後必要である。



レーザーミラースキャナー

計測範囲

システム構成

図 5. 2. 2 - 6 3次元レーザスキャナ

表 5. 2. 2 - 5 3次元レーザスキャナの仕様

測定範囲	2~350m
スキャンニング角度	水平 330° 垂直 80°
測定精度	±2.5cm
スキャンニング速度	縦 1~37.5 スキャン/秒 横 1~15° /秒
レーザ規格	クラス 1
測定レート	28000HZ
レーザ波長	0.9 μm (近赤外線)

5. 3 坑道の排水設備の維持管理

5. 3. 1 立坑・水平坑道を掘削中の排水設備計画

坑内での湧水は水中ポンプにて主立坑及び換気立坑から坑外に強制排水する。立坑深度が1,000mと深いため、100m毎の予備ステージに排水ピットを設けて排水する。各ステージに水中ポンプを2台（1台は予備）設置し、排水管を2系列配置（1系列は予備）して中継させ、地上まで揚水する計画とする。

(1) 排水ポンプ設備の選定

(a) 所要排水量

総排水量は「超深地層研究所 地下施設の設計研究 平成10年度」より以下のとおりとして算出する。

・立坑内湧水	2.0	m ³ /min
・施工よりの排水量	0.4	m ³ /min
・冷却水	0.54	m ³ /min
総排水量	≒ 3.0	m ³ /min

換気立坑において0.5m³/min を超える湧水があり主立坑に余裕があるときは、一部を主立坑側の貯水タンクに排水するものとする。排水ポンプの容量は、以下の排水量を設定して算出する。

・主立坑最大排水量	3.0	m ³ /min
・換気立坑最大排水量	0.5	m ³ /min

(b) 主立坑中継排水ポンプの設備容量

i) 排水条件

- ・排水量 (Q) : 3.0m³/min
- ・管径 (D) : φ150mm
- ・実揚程 (ha) : 100m (ステージ間隔100m)
- ・排水管長 (L) : 130m (排水ステージ引き込み分5m+曲がり損失考慮25m)

直管相当長 90° 曲管 2ヶ×2.7m = 5.4m

逆止弁 1ヶ×19.2m=19.2m

≒ 25m

ii) 管内流速

φ150mmの排水管を使用すると管内流速Vは

$$V = \frac{Q}{15 \times \pi \times D^2} = \frac{3.0}{15 \times \pi \times 0.15^2} = 2.83 \text{m/sec}$$

iii) 管内損失水頭 (hf)

$$hf = \lambda \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad (\text{ダルシーの公式})$$

ここに、λ：摩擦係数

$$\lambda = 0.02 + \frac{0.0005}{D} = 0.02 + \frac{0.0005}{0.15} = 0.0233$$

L：排水管長 130m

D：排水管径 φ0.15m

V：管内流速 2.83m/sec

g：重力加速度 9.8m/sec²

$$hf = 0.0233 \times \frac{130}{0.15} \times \frac{2.832}{2 \times 9.8} = 8.3 \text{m}$$

iv) 全揚程

全揚程 (H) は、実揚程 (ha) に管内損失水頭 (hf) を加えて

$$H = ha + hf = 100 + 8.3 = 109 \text{m}$$

v) ポンプの所要動力

ポンプの所要動力は次式より求める。

$$P = \frac{0.163 \times \gamma \times Q \times H}{\eta_p}$$

ここに、γ：液の比重 1.2

Q：吐出量 3.0m³/min

H：全揚程 109m

η_p：ポンプ効率 0.60

$$P = \frac{0.163 \times 1.2 \times 3.0 \times 109}{0.60} = 107 \text{kW}$$

vi) ポンプの選定

中継排水ポンプは、以下の能力を上回るものが必要である。

揚程 : 109m

吐出量 : 3.0m³/min

出力 : 107kW

したがって、中継排水ポンプとして以下を使用する。

型式 : 150EU6110型

揚程 : 120m

吐出量 : 3.0m³/min

出力 : 110kW

寸法 : 外径 580mm、高さ 1,550mm

質量 : 1,080kgf

また、坑底切羽部のポンプは掘削時の作業性等より排水量に合わせ、できるだけ小型の排水ポンプを使用する。

(c) 換気立坑中継排水ポンプの設備容量

i) 排水条件

・排水量 (Q) : 0.5m³/min

・管径 (D) : φ100mm

・実揚程 (ha) : 100m (ステージ間隔100m)

・排水管長 (L) : 130m (排水ステージ引き込み分5m+曲がり損失考慮25m)

直管相当長 90° 曲管 2ヶ×2.7m = 5.4m

逆止弁 1ヶ×19.2m=19.2m

≒ 25m

ii) 管内流速

φ100mmの排水管を使用すると管内流速Vは

$$V = \frac{Q}{15 \times \pi \times D^2} = \frac{0.5}{15 \times \pi \times 0.12} = 1.1\text{m/sec}$$

iii) 管内損失水頭 (hf)

$$hf = \lambda \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad (\text{ダルシーの公式})$$

ここに、 λ : 摩擦係数

$$\lambda = 0.02 + \frac{0.0005}{D} = 0.02 + \frac{0.0005}{0.1} = 0.025$$

L : 排水管長 130m

D : 排水管径 $\phi 0.15\text{m}$

V : 管内流速 0.48m/sec

g : 重力加速度 9.8m/sec²

$$h_f = 0.025 \times \frac{130}{0.1} \times \frac{1.12}{2 \times 9.8} = 2.0\text{m}$$

iv) 全揚程 (H)

$$H = h_a + h_f = 100 + 2.0 \approx 102\text{m}$$

v) ポンプの所要動力

$$P = \frac{0.163 \times \gamma \times Q \times H}{\eta_p}$$

ここに、 γ : 液の比重 1.2

Q : 吐出量 0.5m³/min

H : 全揚程 102m

η_p : ポンプ効率 0.50

$$P = \frac{0.163 \times 1.2 \times 0.5 \times 102}{0.50} = 20\text{kW}$$

vi) ポンプの選定

中継排水ポンプは、以下の能力を上回るものが必要である。

揚程 : 102m

吐出量 : 0.5m³/min

出力 : 22kW

したがって、中継排水ポンプとして以下を使用する。

型式 : U-2756B型

揚程 : 105m

吐出量 : 1.0m³/min

出力 : 55kW

寸法 : 外径 542mm、高さ 1,385mm

質 量 : 545kgf

なお、坑底排水ポンプは掘削時の作業性等より、必要な排水量に合わせて小型の排水ポンプを使用する。ただし、排水量が中継ポンプ容量より多くなり主立坑側の中継ポンプに余裕があるときは、排水ポンプ容量の大きいポンプに換え、排水の一部を主立坑中継ポンプ貯水槽に送る。

(2) 配管設備計画

揚水管は主立坑、換気立坑ともそれぞれ2系列で配管する。1系列は予備としメンテナンス時に使用し、異常湧水時は2系統とも稼働させる。管径は主立坑でφ150mm、換気立坑でφ100mmとする。

配管用炭素鋼鋼管は標準使用圧力が 10kgf/cm^2 のため、配管は圧力配管用炭素鋼鋼管を使用し、管接続はフランジボルト止め接続とする。また排水ポンプ停止時に排水管内の排水が逆流するので逆止弁を取り付け、逆止弁の点検のため上部にはバルブを設置する。

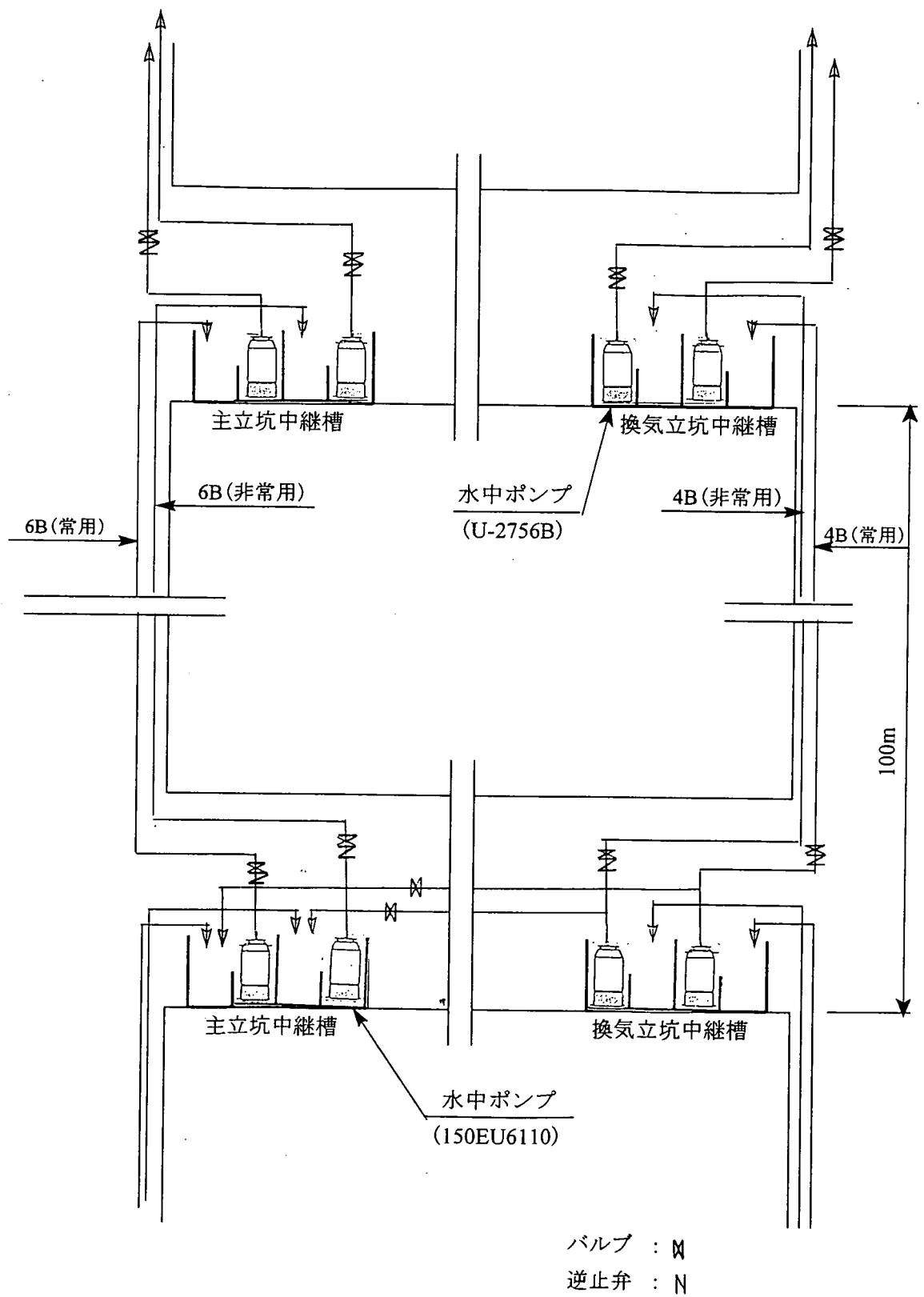
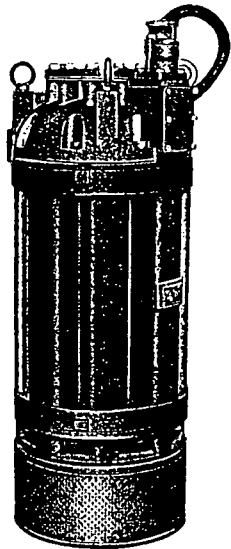


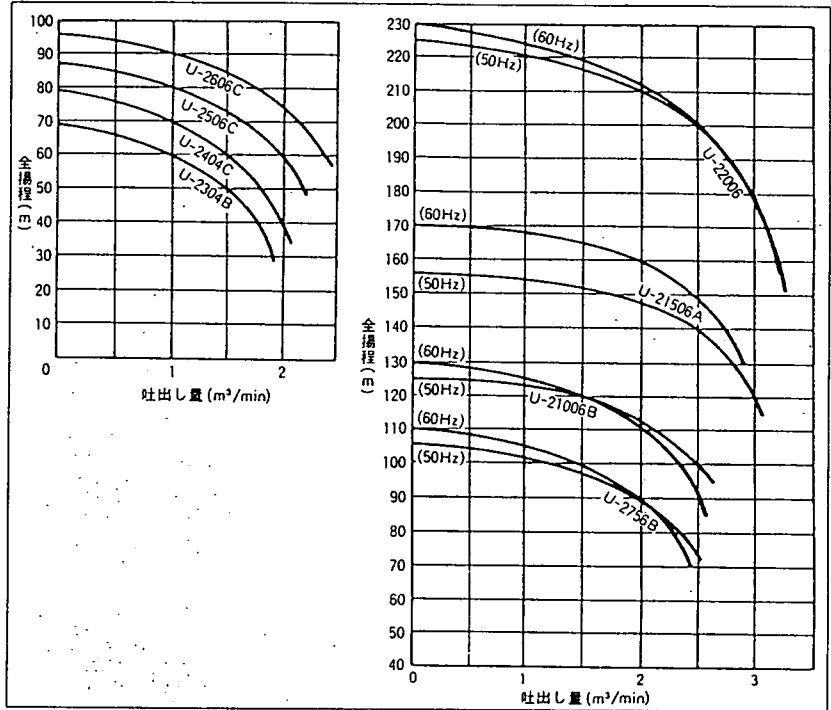
図 5. 3 - 1 立坑排水設備の系統図 (主立坑及び換気立坑)

表 5.3-1 高揚程水中ポンプ

性能曲線



U-21006B



仕 様

形 式	口 径 mm	全 揚 程 m	吐 出 量 m³/min	最 高 揚 程 m	モ ー タ 出 力 kW	最 大 径 mm	高 さ mm	重 量 kg
U-2304B	100	60	1	68	22	455	970	280
U-2404C	100	70	1	78	30	420	1,130	380
U-2506C	150	80 60	1 2	87	37	542	1,385	485
U-2606C	150	90 75	1 2	96	45	542	1,315	485
U-2756B	150	90	2	105/110	55	542	1,385	545
U-21006B	150	120	1.5	125/130	75	580	1,550	980
U-21506A	150	140/160	2.5/2	155/170	110	580	1,550	1,080
U-22006	150	200	2.5	225/230	150	550	1,760	1,250

※/の部分の数字は、左が50Hz、右が60Hzの仕様です。上段・下段は、それぞれの標準仕様点です。

(3) 中継ポンプ座計画

(a) 中継水槽

中継ポンプ座を100m毎に予備ステージ及び中間ステージに設置していき、中継水槽と排水ポンプを設置する。この水槽は、中継のための貯水水槽と沈殿槽の役割を有する。坑底切り羽から湧水をポンプアップした時に砂、小石等を吸い上げこれが各中継ポンプの逆止弁に挟まるとトラブルの原因になる。このトラブルを少しでも防止するため2槽式とする。

水槽の大きさはメンテナンス（槽内沈降土砂の撤去）を考慮すると、図5.3-2に示す大きさが必要となる。またポンプの交換及びメンテナンスのため、上部には吊り上げ装置も必要となる。

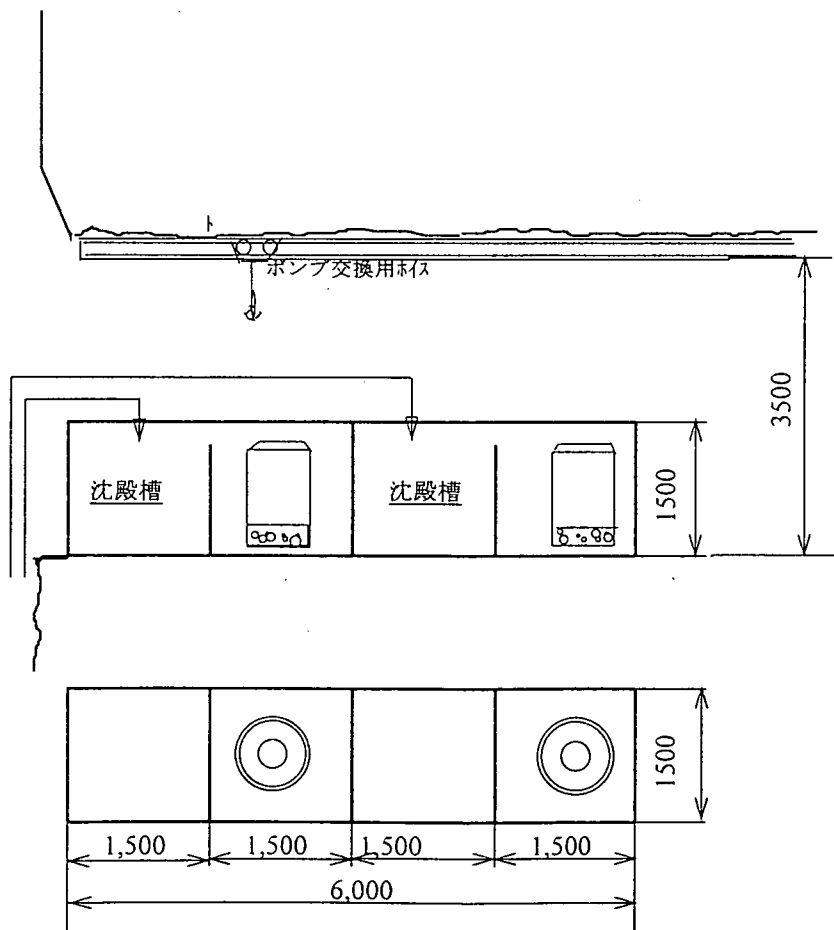


図5.3-2 立坑内中継ポンプ座配置図

(b) 排水ポンプの交換方法

排水ポンプ交換時は、スcaffordを足場とし故障した排水ポンプをスcaffordに積み込まなければならない。この際予備ステージからスcaffordへ横移動の方法として次の方法がある。

- ①ポンプ交換用ホイストの走行レールをスライド式にする。通常はステージ内部に格納させ、排水ポンプをスcaffordに積込み時のみ立坑方向に張り出して積込みを行う（図5.3-3参照）。ただし、走行レール張り出し時に巻上機装置（スcafford）は運転できないようにインターロックを取り付ける必要がある。

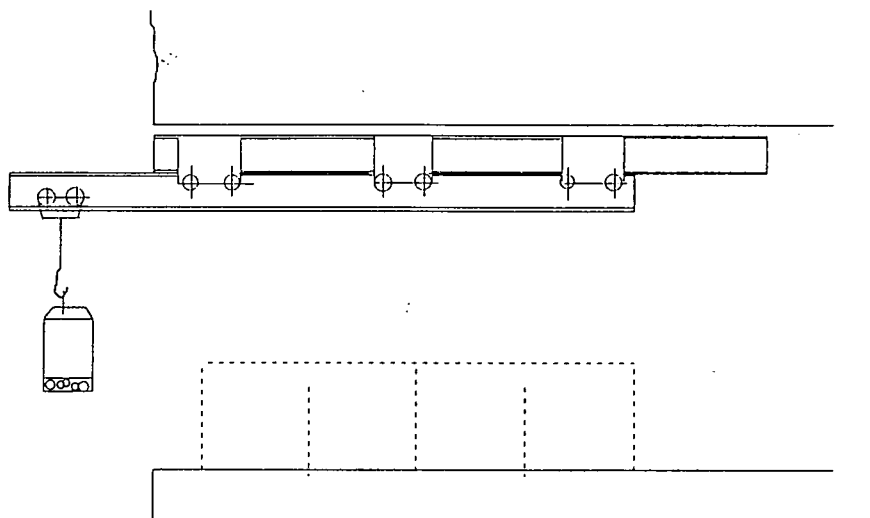


図5.3-3 排水ポンプの交換方法（案1）

- ②ホイストの走行レールを固定式とする。排水ポンプを立坑側まで吊り出しキブル巻で吊り上げる。搬入・搬出時に横引きになるのでステージ側から横引き用のホイストが必要になる（図5.3-4参照）。

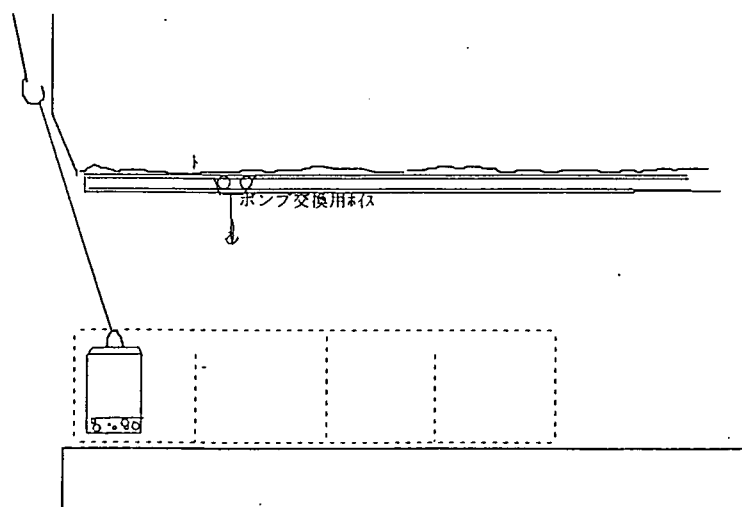


図5.3-4 排水ポンプの交換方法（案2）

(4) ウォーターリングの配置と構造

立坑の坑壁からの湧水は坑壁面を伝わり、水量が多くなると飛散するなど坑底に降り注ぎ掘削能率の低下、作業環境の悪化、設備機器の故障等掘削作業に悪影響を与える。湧水が多い場合は止水グラウトを実施し掘削作業に支障の無いように湧水を押さえなければならぬが、湧水状況により30~40m間隔で坑壁にウォーターリングを構築し坑壁を伝わる湧水を集水処理し作業能率の改善、作業環境の改善等を図らなければならない。

ウォーターリングの構造の一例を図5.3-5に示す。

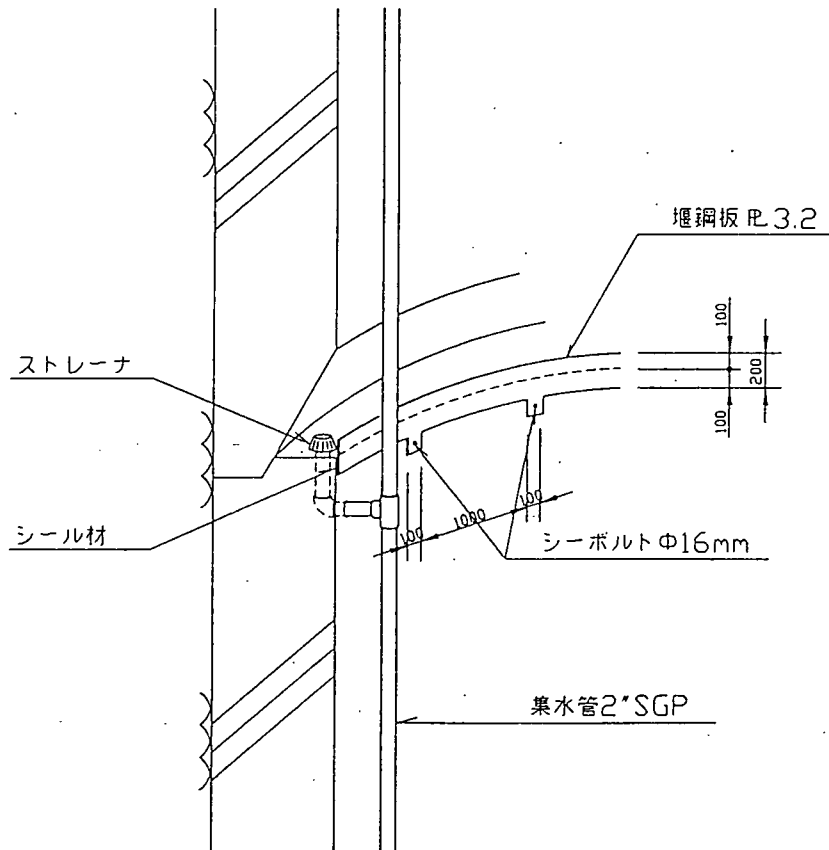


図5.3-5 ウォーターリングの構造例

(5) 坑外濁水処理設備計画

坑内及び坑外からの濁水は、濁水処理プラントで濁度及びpH処理等を行い、排水基準に従い放流する。

(a) 処理水の排水基準

工事で発生する汚濁水の河川への放流は、表5.3-2に示すように規制されている。さらに岐阜県条例による上乘せ基準があるので事前に協議しなければならない。

表5.3-2 処理水の排水基準

項目	水素イオン濃度 (pH)	浮遊物質 (SS) mg/l		規制 (条例の上乗せ基準) の適用 対象
		日平均値	最大値	
総理府令	5.8以上8.6以下 (海域は5.0~9.0)	150	200	平均排水量(以下排水量と称する) 50m ³ /日以上 of 工場、事業場
岐阜県条例	一般的には 5.8以上8.6以下	75	90	木曾川水域(下水道処理区域内)
		50	60	木曾川, 長良川, 揖斐川, 神通川, 矢作川水域(下水道未処理区域内)
		70	90	長良川, 揖斐川, 神通川, 矢作川, 土岐川水域(下水道処理区域内) 水門川水域 (排水量1,000m ³ /日 未満)
		30	40	水門川水域 (排水量1,000m ³ /日 以上及び下水道処理区域内)

(b) 濁水処理量の算定

現場内で発生する主な排水は次の3種類がある。

- ①坑内よりの湧水等の排水 : 掘削中は濁度大
- ②コンクリートプラントよりの排水 : 排水量は少ないがpHが高い
- ③雨水濁水 : 土質により濁度あり

濁水処理プラント設備は、①、②の合計排水量の最大値3.0m³/minで検討を行う。

③の雨水濁水は、処理対象区域外の降雨水を区域内の濁水と分離して集水する工夫を行う。対象区域外への降雨は一般には山地などを流下するもので、工事行為による

濁水化を受けず清水と考えてよいため、これを対象区域内に流入させ濁水化させると、いたずらに雨水濁水量が増加する結果となる。したがって、地形上このような清水の入の恐れのある場合には、側溝により別系統で流下させるなどの手法を採用し、濁水処理すべき量を合理的なものとしなければならない。降雨は不可避の自然現象であるが、これによる濁水も処理しなければならない現状であるため、工事区域内の管理も雨水濁水という観点から十分に考慮する必要がある。例えば雨水による濁りをなくするためヤード内は、通路等は舗装しその他についても砂利等で覆い雨水による濁りを抑える。またのり面はコンクリート吹き付け、種子吹き付け等を行い、ヤード周囲にはU字溝等を設置し沈殿地に集水し上水を放流する。

(c) 設備計画

設備の処理能力として $3\text{m}^3/\text{min}$ 、すなわち $180\text{m}^3/\text{h}$ が必要になる。設備の設置期間が長期間にわたることを考慮すると、当初より最大設備能力分を設置するのはコスト的に不経済であるので、当初は処理能力 $90\text{m}^3/\text{h}$ 分の設備を設置し、後でもう1台同能力の設備を増設し、最終的に $180\text{m}^3/\text{h}$ とする。なお、掘削完了後湧水が減少したときは1台を撤去する。

i) 設計条件（1台当たり）

・濁水発生量	:	$90\text{m}^3/\text{h}$
・濁水浮遊物質 (SS)	:	$5,000\text{mg}/\text{kg}$
・濁水水素イオン濃度 (pH)	:	11
・処理水	:	放流
・スラリー含水率	:	85%
・脱水ケーキ含水率	:	40%
・固形分比重	:	2.65
・処理水浮遊物質 (SS)	:	$25\text{mg}/\text{kg}$
・処理水水素イオン濃度 (pH)	:	6.5~ 8.5

ii) 物質収支

7. 浮遊物質の乾燥重量

$$WD = 90\text{m}^3/\text{h} \times 5,000\text{mg}/\text{kg} \times 10^{-6} = 0.45 \text{ t/h}$$

イ. 排出スラリー量

$$0.45 \times \frac{100}{100-85} = 3.0 \text{ t/h}$$

	t/h	比重	m ³ /h
固形分	0.45	2.65	0.17
水分	2.55	1.00	2.55
	3.00	1.10	2.72 m ³ /h = 65.28 m ³ /日

ウ. 脱水ケーキ量

$$0.45 \times \frac{100}{100-40} = 0.75 \text{ t/h}$$

	t/h	比重	m ³ /h
固形分	0.45	2.65	0.17
水分	0.30	1.00	0.30
	0.75	1.60	0.47 m ³ /h

iii) 主要機器の選定

7. 原水槽

滞留時間を3分とすると

$$90\text{m}^3/\text{h} \times \frac{3}{60} = 4.5\text{m}^3 \text{ 以上}$$

原水槽は沈殿物により有効貯水量が次第に少なくなるので、余裕をみて以下の槽を1基とする。

2.0m×2.5m×2.0m (鋼鉄製10m³クラス)

イ. 処理水槽

放流水の濁度やpHの計測のサンプリング水採集のため、容量1m³程度の処理水槽を設置する。処理水を工事用水として使用するときは、状況に合わせて槽を大きくする。

ウ. pH中和装置

現場の状況(搬入頻度・スペース)によるが、炭酸ガスの貯留を7日と設定すると、炭酸ガス注入量W_c (kg/h) は

$$W_c = 44\text{kg/m}^3 \times Q \times 10^{(\alpha-14)} \times \alpha$$

Q : 濁水量 90m³/h

X : pH 11 (平均)

α : 安全率 3倍とする

$$W_c = 44\text{kg/m}^3 \times 90 \times 10^{(11-14)} \times 3 = 11.9\text{kg/h}$$

気化器能力 60kg/h、ヒーター容量 5 kWとすると、7日当たりの使用量は

$$11.9\text{kg/h} \times 24\text{h} \times 7 = 2,000\text{kg}$$

炭酸ガスポンペ30kgの必要本数は

$$2,000\text{kg} \div 30\text{kg/本} = 67\text{本} \quad \text{となる。}$$

イ. PAC注入装置

PACの使用量は、適正薬注量を実績より100mg/ℓとすると、

$$90\text{m}^3/\text{h} \times 100\text{mg}/\ell = 9.0\text{kg}/\text{h}$$

PACの液比重を1.2とすると、時間当たり薬注量は

$$9.0\text{kg}/\text{h} \div 1.2 = 7.5\ell/\text{h} = 0.125\ell/\text{min}$$

したがって、注入ポンプの能力は0.13ℓ/min以上とする。

注入ポンプ仕様

$$\text{定量ポンプ} \sim 0.60\ell/\text{min} \times 10\text{kg}/\text{cm}^2 \times 0.2\text{kW} \times 1\text{台}$$

PACの貯留を10日間とすると、貯留槽容量は

$$7.5\ell/\text{h} \times 24\text{h} \times 10\text{日} = 1,800\ell$$

よって2,000ℓクラスを使用する。

オ. 高分子注入装置

添加量を3mg/ℓとすると、高分子使用量は

$$90\text{m}^3/\text{h} \times 3\text{mg}/\ell = 0.27\text{kg}/\text{h}$$

使用濃度を0.1%溶液とすると、毎時薬注量は

$$0.27\text{kg}/\text{h} \div 0.001\text{kg}/\ell = 270\ell/\text{h} (4.5\ell/\text{min})$$

したがって、注入ポンプの能力は4.5ℓ/min以上とする。

注入ポンプ仕様

$$\text{定量ポンプ} \sim 10.0\ell/\text{min} \times 5\text{kg}/\text{cm}^2 \times 0.4\text{kW} \times 1\text{台}$$

高分子溶解槽は、夜間の凝集剤の溶解作業を行わないとすると、12時間分の溶解槽を2基設置し交互に使用する。

$$0.27\text{m}^3/\text{h} \times 12\text{h} = 3.24\text{m}^3$$

よって、3.5m³槽×2基とする。

カ. 凝集沈殿装置

処理水量 : $Q=90\text{m}^3/\text{h}$

沈降速度 : $V=4.5\text{m}/\text{h}$ (実績より)

沈降必要面積 : $S=Q/V=90/4.5=20.0\text{m}^2$

したがって、表面積 20.0m^2 以上の凝集沈殿装置とする。

キ. 脱水機

脱水機の濾過容積は固形分量、スラリー脱水性状及び脱水サイクルにより決定される。脱水機を夜間は稼働させず昼間のみの運転とする。脱水6時間+メンテナンス2時間の合計8時間運転とすると、以下の脱水機が必要になる。

凝集沈殿装置24時間で発生するスラリー量とケーキ量は、

スラリー量 $2.72\text{m}^3/\text{h} \times 24\text{h} = 65.28\text{m}^3$

ケーキ量 $0.47\text{m}^3/\text{h} \times 24\text{h} = 11.28\text{m}^3$

発生したスラリーを下記仕様脱水機で処理すると

濾過面積 212.1m^2

濾過容積 3.030m^3

室数 100室

台数 1台

脱水サイクルを90分(加圧脱水80分+開弁排土10分)とすると、1日で発生するスラリーの脱水時間は

$11.28\text{m}^3 \times (90 \div 60) \div 3.030\text{m}^3/\text{サイクル} = 5.6\text{h} \rightarrow$ 約6時間稼働

ク. 貯泥槽

貯泥槽は、夜間脱水機作業を行わないものとする、脱水機休止時間以上の貯留能力のものが必要である。

$2.72\text{m}^3/\text{h} \times (24-6) = 48.96\text{m}^3$

したがって貯泥槽仕様は、

容量 : 50m^3 クラス、付属品 : 7.5kW 攪拌機

iv) 全体設備容量

iii) で選定した主要機器の他に周辺機器を含めた濁水処理設備全体の電気容量は、処理能力 $180\text{m}^3/\text{h}$ 程度の一般的なプラントを参考にして、 80kW と設定する。

(d) 基本的な濁水処理フロー

工事濁水処理のフローは、図5.3-6に示すように前処理、凝集沈降、汚泥処理、pH調整の4つの行程に分けられる。

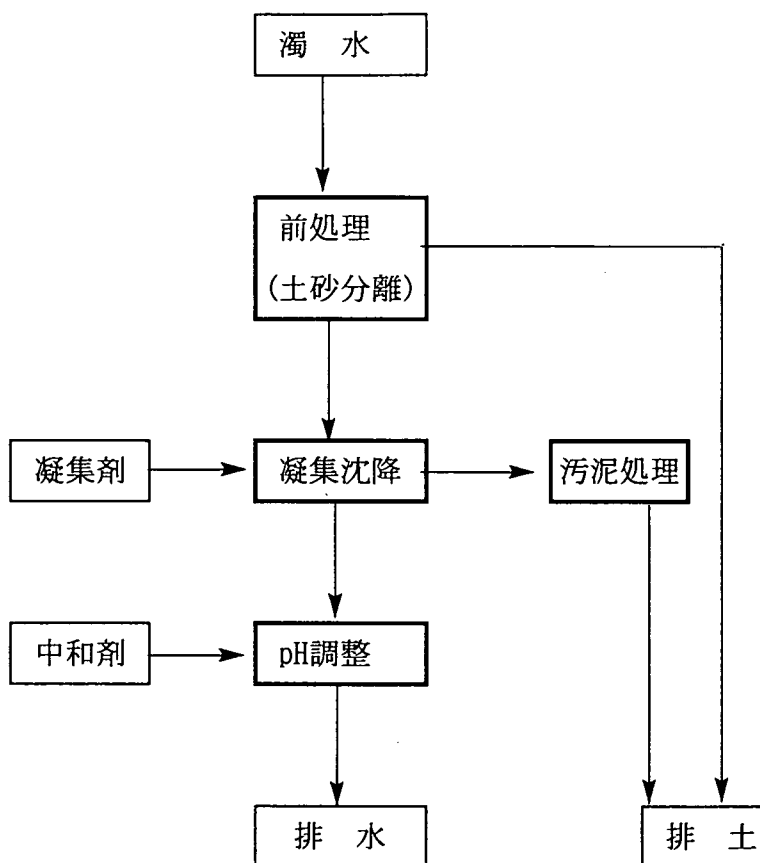


図5.3-6 工事濁水の処理フロー

(e) 設備設置に当たっての許認可手続き

濁水処理設備の処理能力は最終的には180m³/hであるので、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」（以下、廃掃法という）により、許可の必要な産業廃棄物処理施設に該当する。廃掃法施行令第7条では、許可の必要な産業廃棄物処理施設として、汚泥の脱水施設で1日当たりの処理能力が10m³（脱水装置に入る汚泥量）を超えるものと規定している。

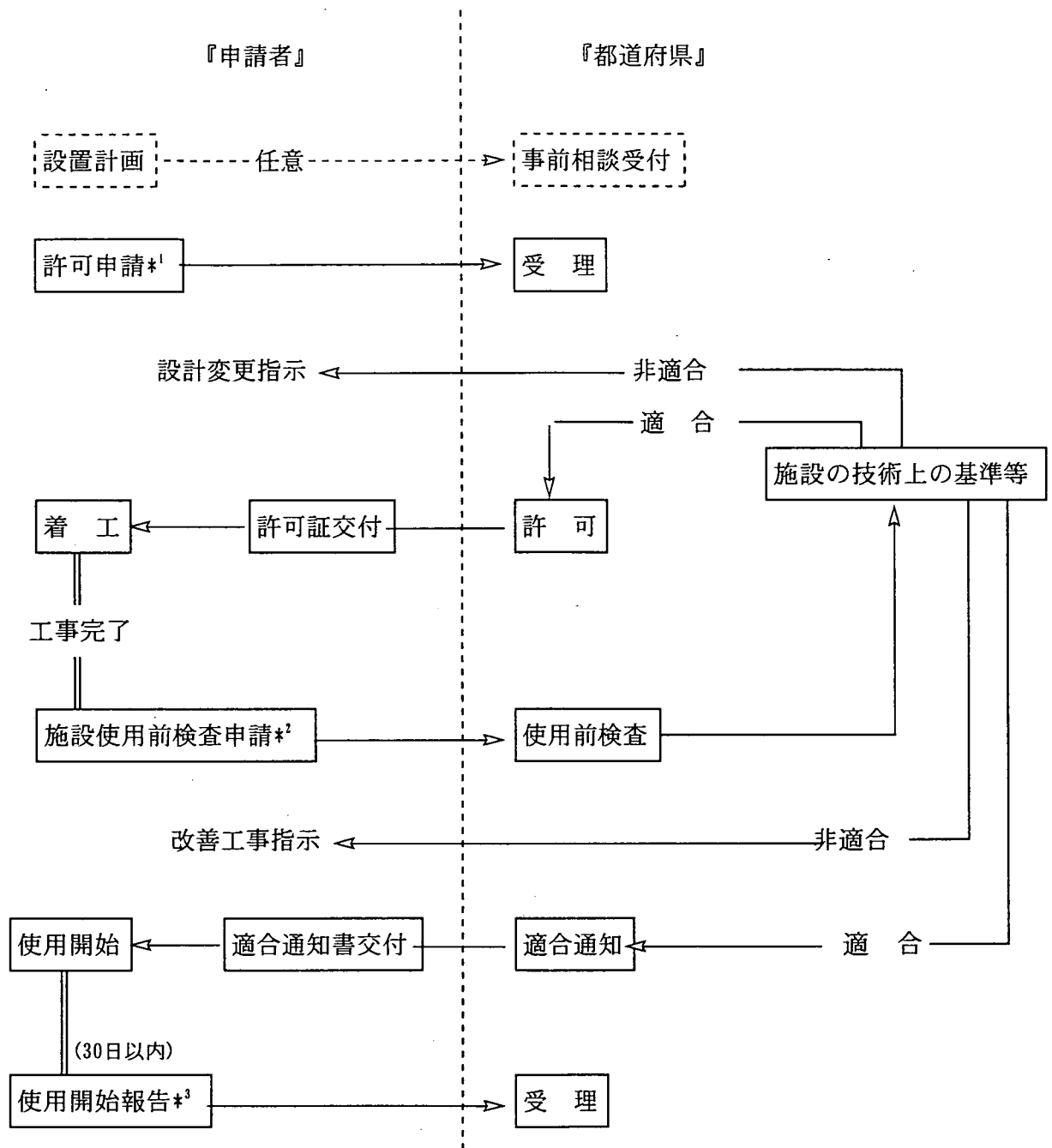
施設を設置しようとする者は、厚生省令で定めるところにより、当該産業廃棄物処理施設を設置しようとする地を管轄する都道府県知事の許可を受けなければならない（廃掃法第15条）。

施設設置の許可申請は、許可を受けようとする者が、次に掲げる事項を記載した申請書を都道府県知事に提出しなければならない（廃掃法施行規則第11条）。

- ① 氏名または名称及び住所並びに法人にあっては、その代表者の氏名
- ② 施設の種類及び当該施設において処理する産業廃棄物の種類
- ③ 設置場所
- ④ 処理能力
- ⑤ 処理方式、構造及び設備の概要
- ⑥ 処理に伴い生ずる排ガス及び排水の処理方法
- ⑦ 放流水の水質及び水量、放流方法並びに放流先の概況
- ⑧ 廃油の油水分離施設、廃酸または廃アルカリの中和施設、汚泥・廃酸又は廃アルカリに含まれるシアン化合物の分解施設にあっては、汚泥等の処分方法
- ⑨ 汚泥焼却施設、廃油焼却施設、廃プラスチック類焼却施設、水銀またはその化合物を含む汚泥のばい焼施設、廃PCB等、PCB処理物の焼却施設、産業廃棄物の焼却施設にあっては、ばいじん及び焼却灰の処分方法
- ⑩ 着工予定年月日及び使用開始予定年月日

濁水処理設備の設置に当たって必要な許認可の申請手続きのフローを図5.3-7に示す。

また、処理施設の技術上の基準と維持管理基準を表5.3-3に示す。



所定様式（廃掃法施行規則第11条）

*1 様式第24号

*2 様式第3号

*3 様式第28号

図5.3-7 許認可申請手続きフロー

表 5.3-3 産業廃棄物処理施設の技術上の基準と維持管理基準

	技術上の基準	維持管理基準
一般的事項	<p>1. 自重、積載荷重その他の荷重、地震力及び温度応力に対して構造耐力上安全であること。</p> <p>2. 施行規則第11条第1項の規定により申請した処理能力を有すること。</p> <p>3. 産業廃棄物、産業廃棄物の処理に伴い生じる排ガス及び排水、施設において使用する薬剤等による腐食を防止するために必要な措置が講じられていること。</p> <p>4. 産業廃棄物の飛散及び流出並びに悪臭の発散を防止するために必要な構造のものであり、又は必要な設備が設けられていること。</p> <p>5. 著しい騒音及び振動を発生し、周囲の生活環境を損なわないものであること。</p> <p>6. 施設から排水を放流する場合は、その水質を生活環境保全上の支障が生じないものとするために必要な排水処理設備が設けられていること。</p> <p>7. 産業廃棄物の受入設備及び処理された産業廃棄物の貯留設備は、施設の処理能力に応じ、十分な容量を有するものであること。</p> <p style="text-align: right;">(規則第12条)</p>	<p>1. 受け入れる産業廃棄物の種類及び量が当該施設の処理能力に見合った適正なものとなるよう、受け入れる際に、必要な当該産業廃棄物の性状の分析又は計量を行うこと。</p> <p>2. 施設への産業廃棄物の投入は、当該施設の処理能力を超えないように行うこと。</p> <p>3. 産業廃棄物が施設から流出する等の異常な事態が生じたときは、直ちに施設の運転を停止し、流出した産業廃棄物の回収その他の生活環境の保全上必要な措置を講ずること。</p> <p>4. 施設の正常な機能を維持するため、定期的に施設の点検及び機能検査を行うこと。</p> <p>5. 産業廃棄物の飛散及び流出並びに悪臭の発散を防止するために必要な措置を講ずること。</p> <p>6. 蚊、はえ等の防止につとめ、構内の清潔を保持すること。</p> <p>7. 著しい騒音及び振動の発生により周囲の生活環境を損なわないように必要な措置を講ずること。</p> <p>8. 施設から排水を放流する場合は、その水質を生活環境保全上の支障が生じないものとするとともに、定期的に放流水の水質検査を行うこと。</p> <p>9. 維持管理に関する点検、検査その他の措置の記録を作成し、3年間保存すること。</p> <p style="text-align: right;">(規則第12条の6)</p>
①汚泥の脱水施設 10m ³ /日を 超えるもの (令第7条)	<p>施設が設置される床又は地盤面が、不透水性の材料で構築され、又は被覆されていること。</p> <p style="text-align: right;">(規則第12条の2)</p>	<p>1. 脱水機の脱水機能の低下を防止するため、定期的にろ布又は脱水機の洗浄を行うこと。</p> <p>2. 汚泥からの分離液が地下に浸透しないように必要な措置を講ずること。</p> <p style="text-align: right;">(規則第12条の7)</p>

5.3.2 立坑・水平坑道が完成後の排水設備計画

工事完了後、主立坑掘削中の排水ポンプをそのまま使用しても良いが、立坑100m毎に10カ所の中継地点があり(換気立坑も同数)、釜場及び排水ポンプの維持管理が大変である。

したがって、ここでは500m地点と坑底の2カ所に定置式排水ポンプを設置し、両立坑の排水を主立坑より排水する計画とした場合の排水ポンプ容量を検討する。

(1) 定置式排水ポンプの選定

(a) 排水条件

- ・排水量 (Q) : 3.0m³/min
- ・管径 (D) : φ150mm
- ・実揚程 (ha) : 500m
- ・排水管長 (L) : 535m (中継ステージ横引き分10m+曲がり損失分25m)

(b) 管内流速 (V)

$$V = \frac{Q}{15 \times \pi \times D^2} = \frac{3.0}{15 \times \pi \times 0.15^2} = 2.83 \text{m/sec}$$

(c) 管内損失水頭 (hf)

$$hf = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

ここに、f : 摩擦係数 (ダルシー公式)

$$f = 0.02 + \frac{0.0005}{D} = 0.0233$$

$$hf = 0.0233 \times \frac{535}{0.15} \times \frac{2.83^2}{2 \times 9.8} \approx 34 \text{m}$$

(d) 全揚程 (H)

$$H = ha + hf = 500 + 34 = 534 \text{m}$$

(e) ポンプの所要動力 P

$$P = \frac{0.163 \times \gamma \times Q \times H}{\eta_p}$$

- | | | | | |
|------|---|---|------|------------------------|
| ここに、 | γ | : | 液の比重 | 1.0 |
| | Q | : | 吐出量 | 3.0m ³ /min |
| | H | : | 全揚程 | 534m |

η_p : ポンプ効率 0.6

$$P = \frac{0.163 \times 1.0 \times 3.0 \times 534}{0.6} = 435 \text{ kW}$$

したがって、定置式排水ポンプは以下のポンプを使用する。

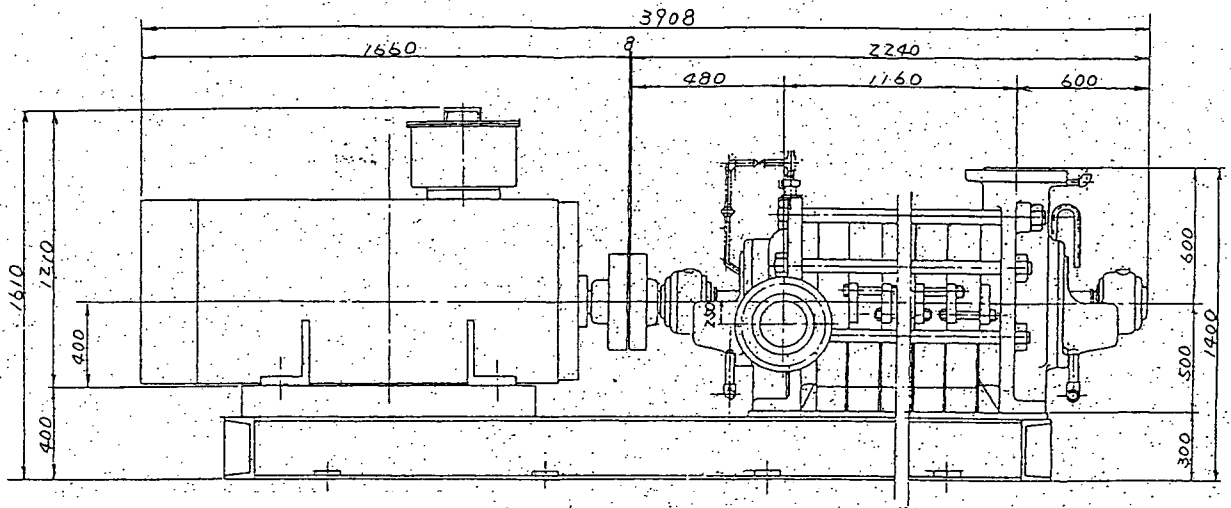
横軸多段ポンプ

型 式 : MPC38H-ISV-W7

揚水量 : 3.0m³/min

揚 程 : 540m

電動機 : 400kW 60Hz 440V



主 要 仕 様	
型 式	MPC 3 8 H - ISV - W7
揚水量	3 m ³ /min
総揚程	540 m
回転数	(同期) 1800 rpm
電動機	400 kw - 4 P - 60 Hz - 440 V
段 数	7 段
口 径	吸込 φ200 吐出 φ200
取扱液	地下湧水

概 算 寸 法 ・ 重 量	
全体寸法 L × W × H	3908 × 1100 × 1610
全体重量	6,600 kg
ポンプ本体	2,600 kg
電動機	2,500 kg
ベツト	1,500 kg

(注) 本図は概略参考図です。製作時など寸法と変更する事があります。

参考図

図 5.3-8 超高揚程用定置式排水ポンプの例

(2) 坑底ポンプ座

「トンネル標準示方書〔山岳工法編〕・同解説」において、斜坑坑底の貯水槽容量は停電時予備電源切り替え作業時間を考慮し、揚水を停止しても30分程度貯水できる容量と記述してある。立坑深度が非常に大きいので安全上1時間程度の貯水量を確保できる容量とすると、湧水量 $3\text{m}^3/\text{min}$ に対し 180m^3 の貯水量が必要となる。したがって、最終ステージの下に貯水するため、立坑を約5.5m程掘り下げ貯水槽とする。

(3) 坑外濁水設備

施工中の濁水処理設備は $90\text{m}^3/\text{h} \times 2$ 台（処理水量 $180\text{m}^3/\text{h}$ ）設置するが、施工完了後は、湧水量の状況によっては1台を撤去し処理能力を50%とする。

5.3.3 湧水量が想定より多い場合、少ない場合の対応策

(1) 湧水量が想定より多い場合

湧水量が一時的に多い場合は、予備排水ポンプの稼働で対処できる。ただしこの場合、メンテナンス、故障には対応できない。継続的に湧水量が多い場合は、設備の増強・補助工法が必要になる。立坑掘削において湧水量が多いと掘削能率の低下、揚水設備の増加、作業環境の悪化等掘削作業に悪影響を及ぼすので、止水グラウト等の補助工法を必ず行い湧水を止水しなければならない。

立坑掘削における湧水対策の実状と止水グラウト技術等については、4.5.2に述べたとおりであるが、超深地層研究所立坑で掘削に支障を来すような湧水の予想される区間を対象に、止水グラウトの施工検討を行った。その結果を添付資料5に示す。

(2) 湧水量が想定より少ない場合

想定湧水量 ($3\text{m}^3/\text{min}$) で排水設備を設置した場合において、掘削工事途中で湧水量が想定より少ない場合もあるが、湧水量は掘削完了するまでどのように変動するかは予想し難い。掘削中に湧水量が少ない場合には、坑底の排水ポンプのみを掘削の作業性（重量物の移動・占有面積の最小化）から、湧水に見合う小型の排水ポンプを設置することで対応する。

<第5章 参考文献>

- 1) 清水建設(株), (株)大林組, 鹿島建設(株), 大成建設(株): 超深地層研究所 地下施設の設計研究 [平成10年度] -核燃料サイクル開発機構 委託研究成果報告書-, JNC TJ 1400 99-001 (1), 1999年2月
- 2) 三井鉱山エンジニアリング(株): 研究坑道建設に必要な設備及びその搬入・組立方法の調査報告書-核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書-, 平成12年3月
- 3) 通商産業省 環境立地局監修: 鉱山保安規則(石炭鉱山編) 平成8年版
- 4) 通商産業省 立地公害局鉱山課・石炭課監修: 鉱山施設必携, 1988年11月
- 5) 労働省 安全衛生部編: 安衛法便覧 平成12年版, 平成12年5月
- 6) 労働省 労働基準局編: 労働衛生のしおり 平成12年度, 平成12年7月
- 7) (社)中央労働基準協会監修: 安全衛生施工基準, 昭和55年9月
- 8) (社)日本道路協会: 道路トンネル維持管理便覧, 平成5年11月
- 9) (財)ビル管理教育センター: 改訂 ビルの環境衛生管理 上巻 [建築物環境衛生管理技術者講習会テキスト], 平成12年4月
- 10) 近代図書(株): 建設現場の仮設電気、換気、排水、濁水・汚泥処理計画と実例, 平成3年8月
- 11) (社)日本ダム協会: 改訂版 ダム建設工事における濁水処理, 平成3年10月
- 12) (財)日本環境衛生センター: 産業廃棄物中間処理施設 [廃棄物処理施設技術管理者認定講習], 平成6年7月
- 13) (社)土木学会: トンネル標準示方書 [山岳工法編]・同解説 平成8年度版, 平成8年7月
- 14) 日本道路公団: トンネル施工管理要領(計測工編), 昭和63年4月
- 15) (社)土木学会: トンネルの地質調査と岩盤計測, 昭和58年7月
- 16) (社)日本道路協会: 道路トンネル観察・計測指針, 平成5年11月
- 17) 鉄道界図書出版(株): 青函トンネル技術のすべて, 昭和61年2月
- 18) 日本鉄道建設公団編: NATM設計施工指針, 平成8年2月
- 19) (社)土木学会: トンネルにおける調査・計測の評価と利用, 平成7年10月
- 20) (社)土木学会: 山岳トンネルの立坑と斜坑, トンネル・ライブラリー7号, 平成6年8月
- 21) 農林水産省 構造改善局監修: 土地改良事業計画設計基準「設計・水路トンネル」, (社)農業土木学会, 平成4年3月制定
- 22) 北海道開発局 建設部 道路建設課監修: 道路トンネル設計施工要領 NATM編, 平成7年

6月

- 23) 前田憲一ほか：青函トンネル海底部の維持管理；トンネルと地下，第23巻11号，1992年11月
- 24) 北川修三ほか：青函トンネル海底部の維持管理；トンネルと地下，第21巻5号，1990年5月
- 25) 坂井五郎ほか：青函トンネルの内空断面測定システム；日本鉄道施設協会誌，1996年7月
- 26) 建設省：建設省総合技術開発プロジェクト コンクリートの耐久性向上技術の開発（土木構造物に関する研究成果），（財）土木研究センター，1989年5月
- 27) 水上国男：コンクリート構造物の耐久性シリーズ 化学的腐食，技報堂出版，1986年12月
- 28) 日本道路公団 試験研究所 道路研究部 トンネル研究室編：試験研究所技術資料第356号 トンネル変状調査マニュアル，1998年10月
- 29) (株)技術情報協会：コンクリート構造物の非破壊検査・診断技術，2000年3月
- 30) (株)桜川ポンプ製作所：桜川ポンプハンドブック，平成4年4月

6. 立坑から水平坑道への設備、資機材等の搬入出設備の計画

6. 1 計画条件

6. 1. 1 搬入機材の重量と形状の制限

立坑から水平坑道へ搬入する機材は、キブル巻揚機の定格荷重の以下で、スカフォードの開口部を通過できるものとする。または、機械を分解して搬入し坑内で組み立てるものとする。

(1) キブル巻揚機

キブル巻揚機のローププルは、324kN になっている。ロープ等の死荷重を除いて19t 程度の機材が巻き降しできるものとする。

(2) 搬入機材の形状

スカフォードの開口部を通過できる搬入機材の最大寸法は、「超深地層研究所研究坑道建設に必要な設備及びその搬入・組立方法の調査報告書 平成 11 年度」のなかのスカフォード組立図を参照して、ここではφ2,600mm と設定する。

吊り荷の回転を考慮すると、矩形断面の最大機材寸法は次のとおりとなる。

- ① 2.0m×1.66m ② 1.83m×1.83m ③ 1.7m×1.97m
④ 1.5m×2.21m ⑤ 1.0m×2.4m

(3) 搬入機材

以下の機器を搬入するものとする。

機械名称	仕様・条件	全重量(kg)	寸法(H*W*L)(m)
TBM(分解重量)	φ2.2m	59t(19t)	φ2.2
ボーリングマシン	水平500m	4,000	7.10*1.21*0.9
ホイールジャンボ	1ブームホイール	8,200	8.60*1.90*1.20
シャフローダー	0.03m ³	8,500	6.34*1.65*1.41
ロードホールダンプ	1.7m ³	9,900	7.70*2.16*1.71
キャリアダンプ	3.5t積	4,600	4.14*2.44*2.00
バックホー	0.15m ³ 級	4,230	5.54*2.46*2.00
吹付機	湿式		
高所作業車	クレーン式 6~7m	1,400	2.35*2.20*1.28
給排水設備	水中ポンプ	1,000	
空調設備	クーリングシステム	320	1.40*1.375*0.50
電気設備	キュービクル	3,300	4.10*1.20*1.05
換気設備	エアコンパック	3,200	

6.1.2 搬入機材及び分解最大重量

搬入する主な機械の分解最大重量と分解寸法を以下に示す。

(1) 1ブーム油圧ホイールジャンボ（三井造船アイムコ QUASAR）

部 品	分解重量	分解寸法(H*W*L) (mm)
ドリフター	140kg	
ブーム	1,500kg	
ガイドセル	360kg	
小 計	2,000kg	
本体前車軸	3,100kg	1,300×1,200×1,640
本体後車軸	3,100kg	1,900×1,200×1,640
計	8,200kg	

(2) ずり積機（ケムコ シャフロダー KL-7）

部 品	分解重量	分解寸法(H*W*L) (mm)
ローディグテーブル	2,390kg	710×1,400×4,800
シャーシー+ポニートラック	3,838kg	1,450×1,410×2,850
シュウ、リンク	452kg	
コンベヤドライブ	920kg	505×1,112×1,850
ブーム	900kg	600× 700×3,000
計	8,500kg	

(3) ずり運搬機（ヤンマーディーゼル C50R）

部 品	分解重量	分解寸法(H*W*L) (mm)
本体、足廻り	3,861kg	1,877×2,000×4,135
荷 箱	657kg	1,000×2,000×2,450
キャノピー	82kg	1,457×1,000×1,585
計	4,600kg	

6.2 接続部の形状と構造

(1) 立坑の施工順序

主立坑の施工順序を次に示す。

- ① 0m～500mまでの立坑掘削
- ② 接続部・ずり積替え坑道(図6-2参照)の掘削(500mレベル)
- ③ 接続部設備の設置(中間ステージ開閉座張・トラバーサー・天井クレーン
ベルトコンベヤ・ずりホッパー)

- ④ 500m～927mまでの立坑掘削
- ⑤ 中間ステージ掘削(500mレベル)
- ⑥ 試験坑道掘削(500mレベル)

(2) 接続部の形状

主立坑掘削が完了したあとに、中間ステージへの機材搬入およびずりの搬出が安全に行える設備とその坑道断面について、次の点を考慮して検討、計画する。

- ① 立坑と水平坑道が交差する部分は地山応力が一般坑道に比べて大きくなるので、できるだけ水平坑道の断面を小さく計画する。
- ② 水平坑道の断面についても、施工上必要な最小断面とする。
- ③ 接続部の構造でメンテナンス用等に回り通路を追加する必要がある(図6-2に坑道の追加)。

鉱山保安規則 第409条 人を昇降させる巻揚装置

5. 坑底および中段乗降場には、両側に坑道があるときは、一方向の側から他の側に通ずる回り通路を設けること。

6. 3 水平坑道への機材搬入

坑内で組立てを必要とする大型長物機材は、次の手順で坑内に搬入するものとする。

(1) 作業準備

- ① 500mレベル以下の作業を中止して人を退避させる。
- ② 500mレベルに作業員を張り付ける。
- ③ キブル巻揚機を500mモードに切り替える(安全着床)。
- ④ 坑口で機材に玉掛けをして坑内に降ろす。

(2) 接続部での機材搬入手順(図6-1、図6-2参照)

- ① 中間ステージ座張を水平に倒す。
- ② 電動台車をキブルロープの下に移動する。
- ③ 機材の先端が電動台車に着くまで徐行でキブルロープを下げる。
- ④ 台車を移動させながら、巻揚機ロープを徐々に下げて、機材の後端部を別の台車に乗せて機材を水平に着床させる。
- ⑤ 機材に乗せた2台の台車を、機材の重心がキブルロープの真下になるまで移動する。

- ⑥ 玉掛けを行って、機材をキブル巻揚機で吊る。電動台車1台を機材の重心の下に移動する。
- ⑦ キブル巻揚機を下げて1台の電動台車にのせる。
- ⑧ 電動台車をトラバーサーの所まで移動する。
- ⑨ 必要により、トラバーサーで横移動する。
- ⑩ 天井クレーン（図6-1、E断面）で電動台車から降ろす。
- ⑪ 天井で機器の組立てを行う。または、キャリアダンプに積んで運搬する。

6. 4 掘削ずりの搬出

掘削ずりは、次の機器を使用して坑外に搬出する。

- ① キャリアダンプで切羽のずりをずりホッパー（図6-2、F断面）まで運搬してずりホッパーに投入する。
- ② ベルトコンベヤでずりをずりキブルに積込む。
- ③ トラバーサーでずりキブルを横移動する。
- ④ 電動台車でずりキブルを立坑内に移動させる。
- ⑤ キブル巻揚機で地上に搬出して、ずりを処理する。
- ⑥ 接続部の反対側に待機していた空キブルの電動台車を移動してずり積みを行う。
- ⑦ 空キブルを坑内に下げて接続部に待機させる。

6. 5 吹付材料の搬入

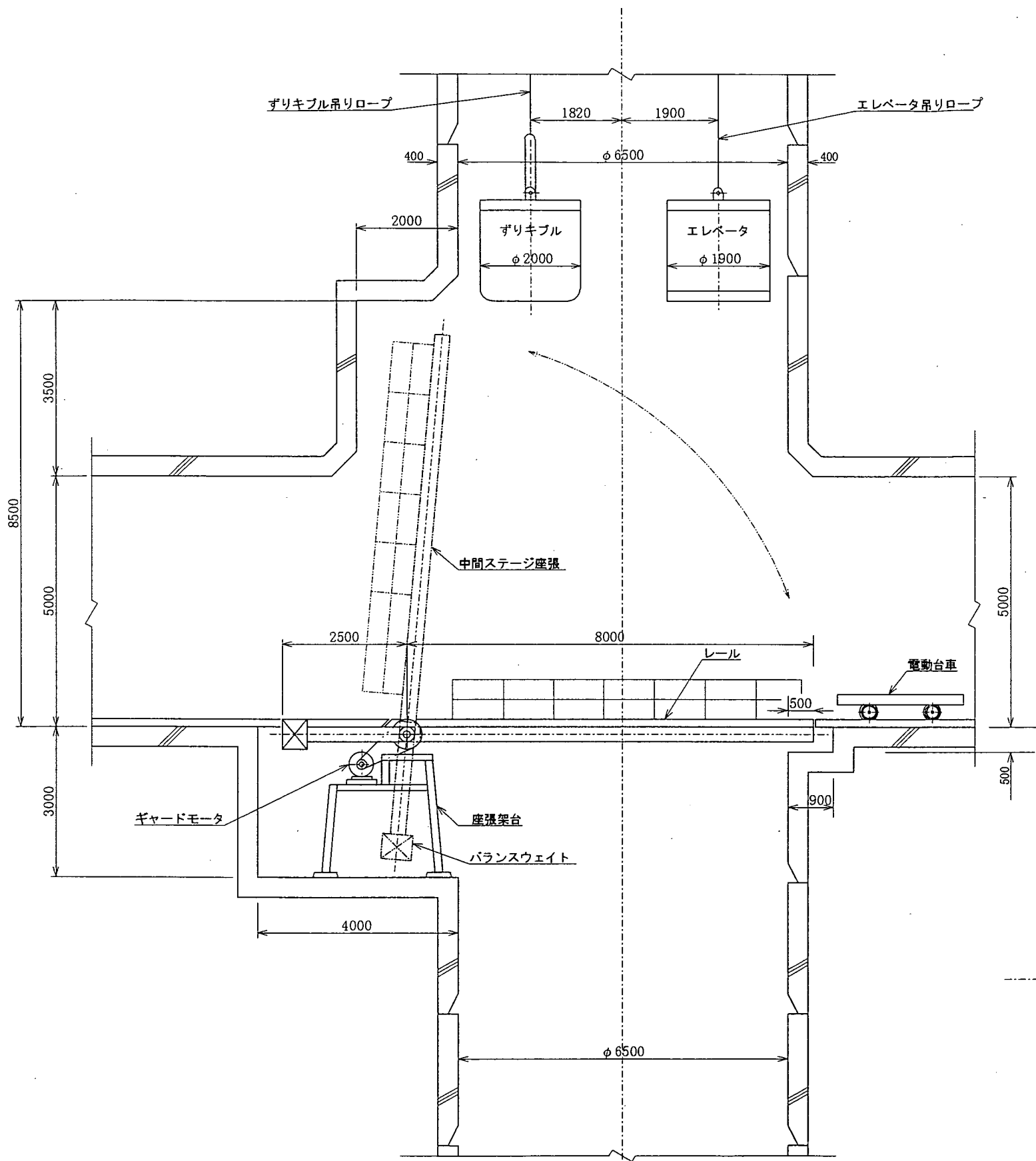
乾式の場合は次の手順で坑内に搬入する。

- ① 空練りした骨材をコンクリートキブルで500mレベルまで下げる。
- ② 中間レベル座張の上でキャリアダンプに積込む。
- ③ キャリアダンプで坑内吹付け機まで骨材を運搬する。

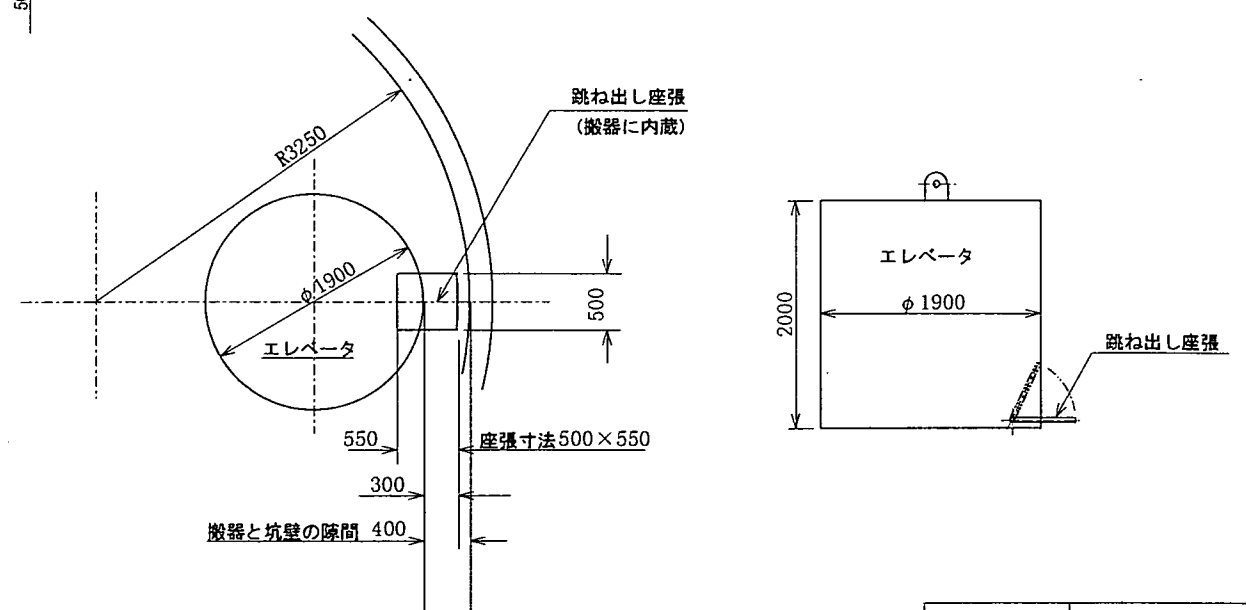
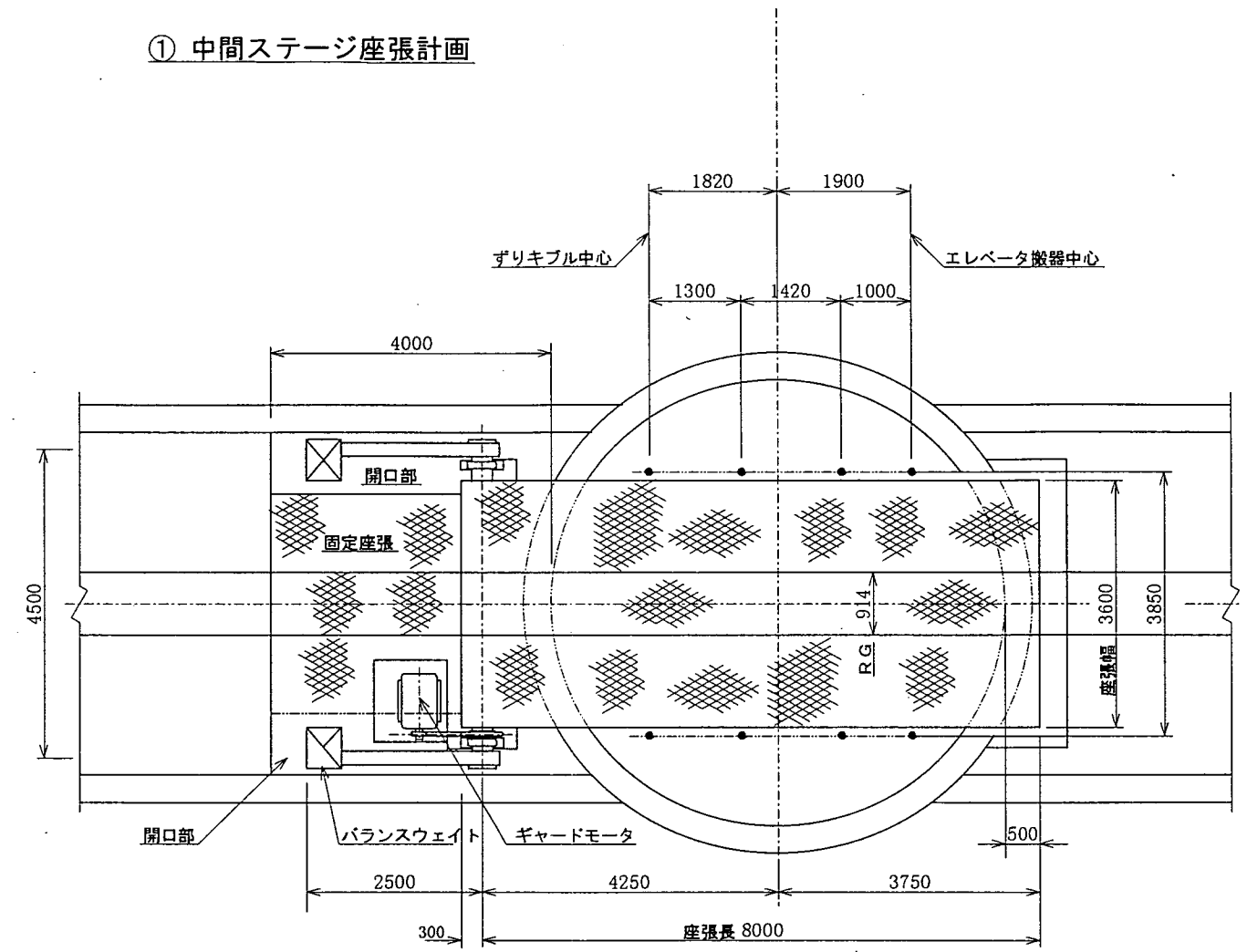
湿式の場合は接続部よりポンプ圧送する。

6. 6 人員の入出坑

図6-1に示すように、エレベーター搬器と立坑壁との離隔が40cmなので、搬器に跳ね出し座張を内蔵したものを使用する。

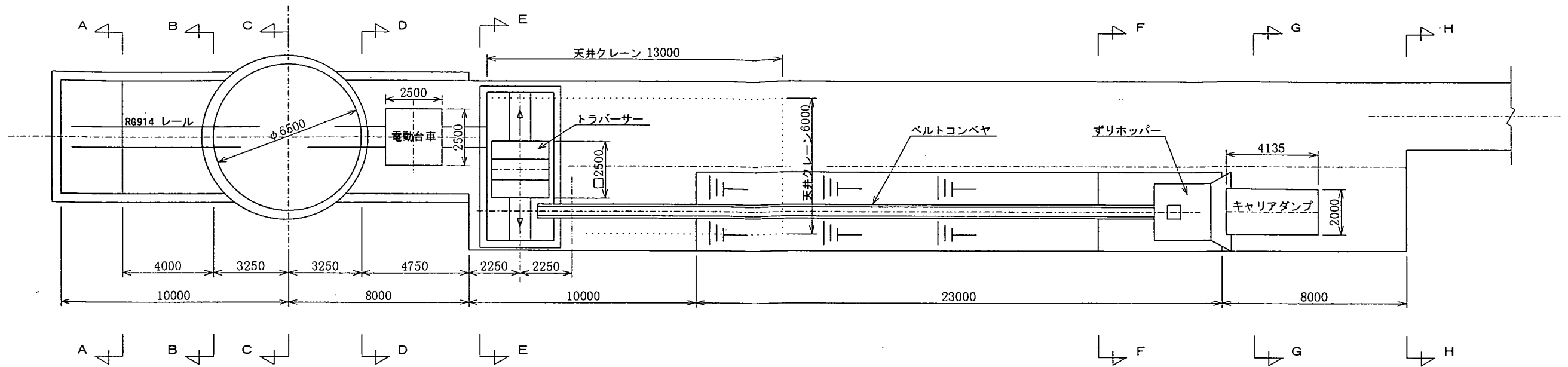


① 中間ステージ座張計画

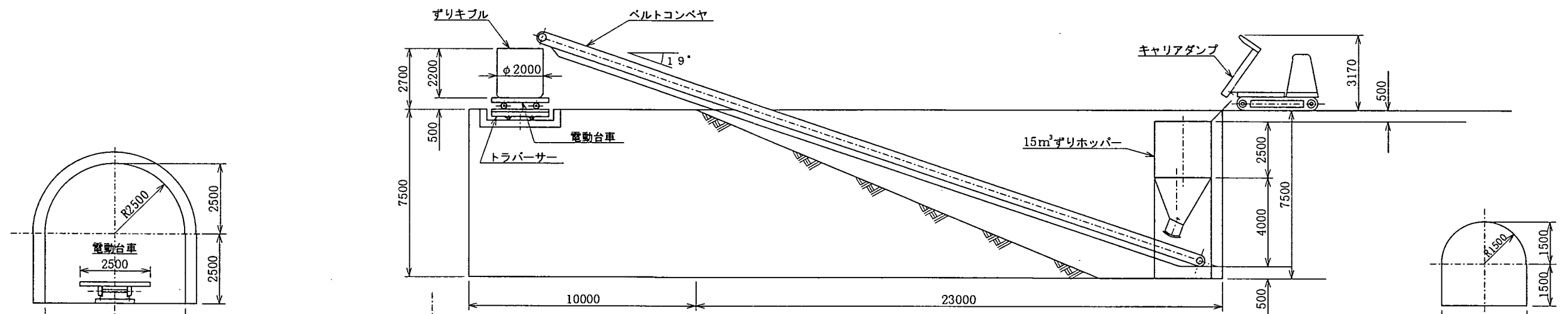


② 人員入出計画

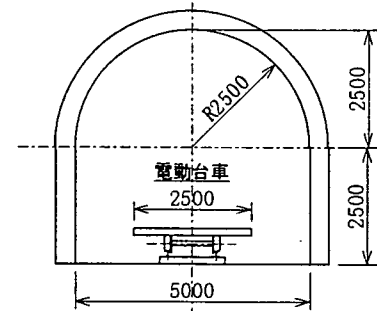
図番	図6-1			
図名	中間ステージ座張計画図			
縮尺	1/100	年月	01-3-11	製図
				片居木



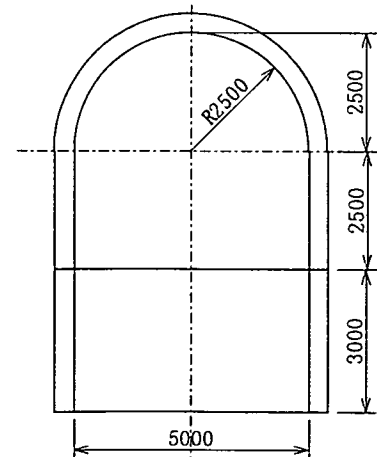
500m 接続部平面図



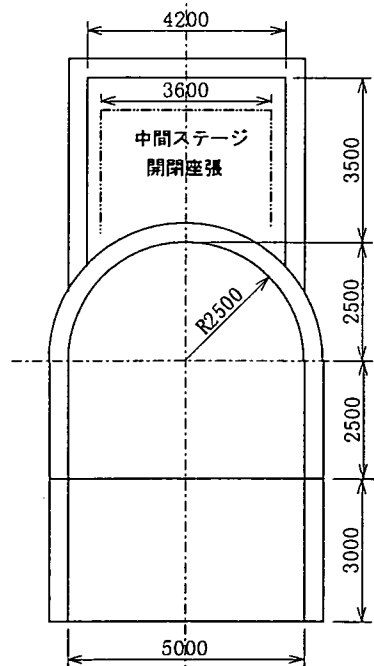
ずり積側面図



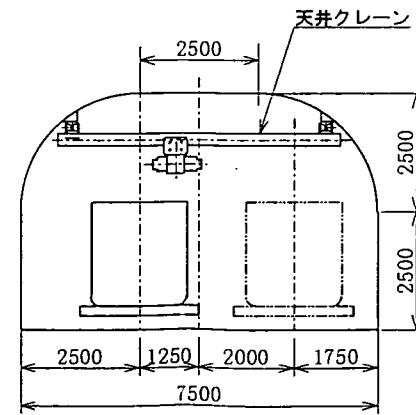
A-A D-D 断面



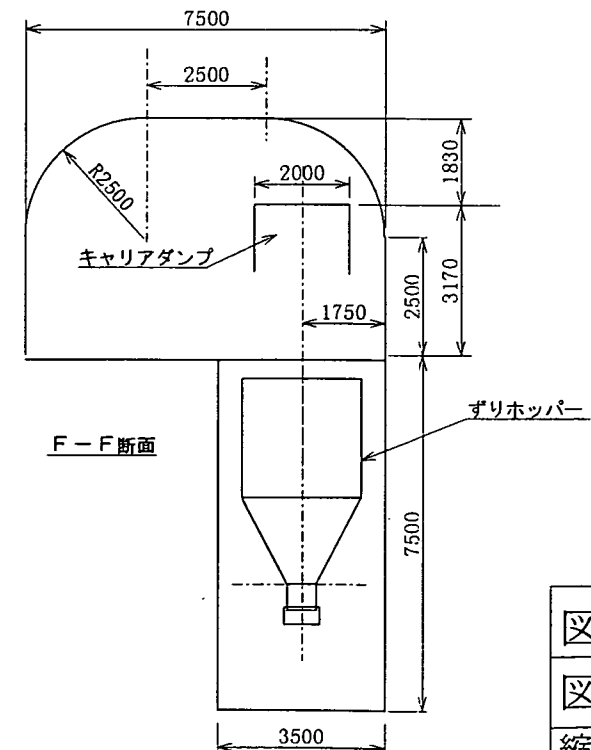
B-B 断面



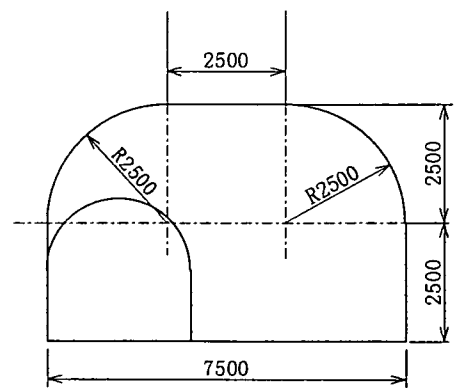
C-C 断面



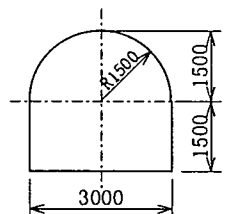
E-E 断面



F-F 断面

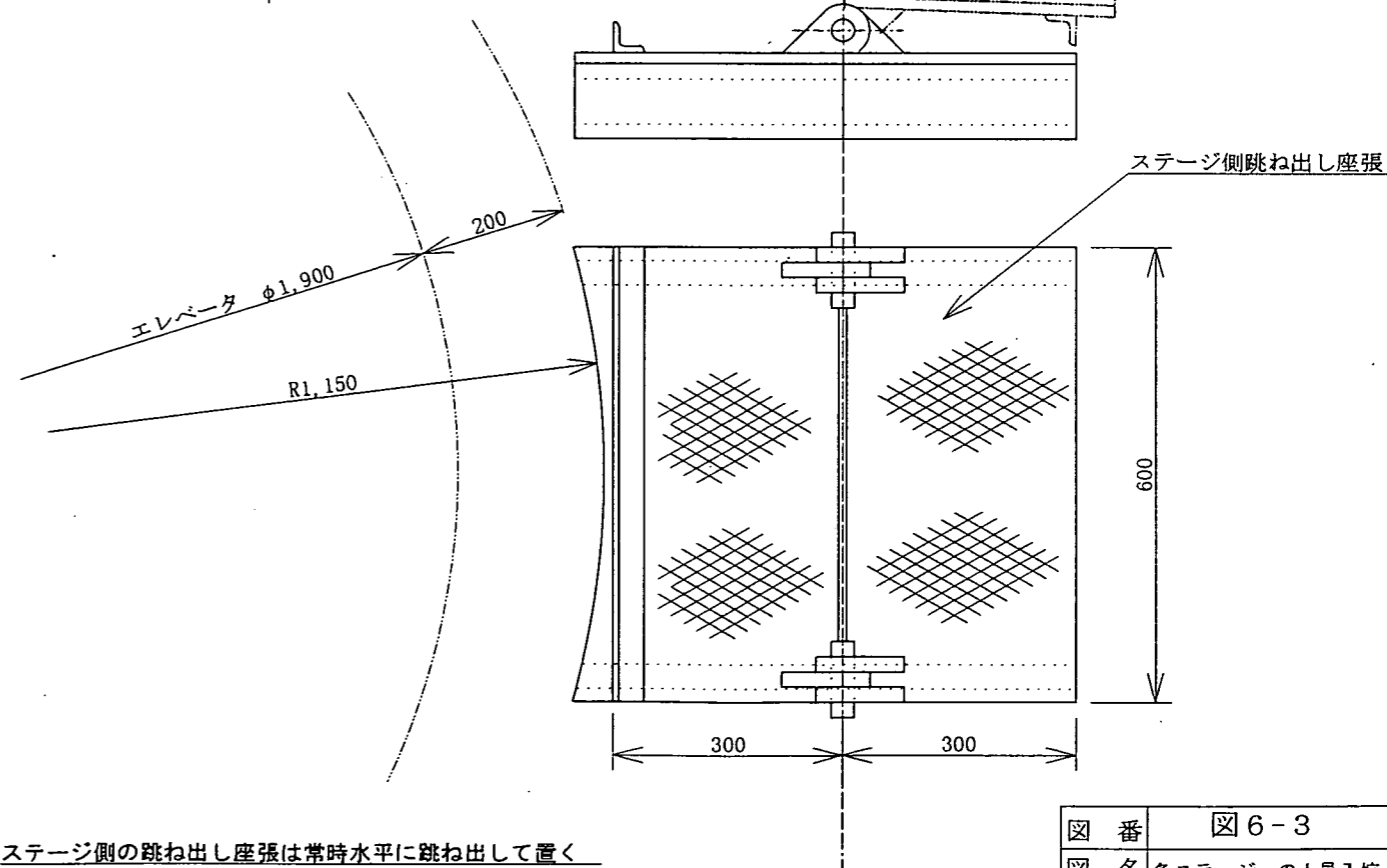
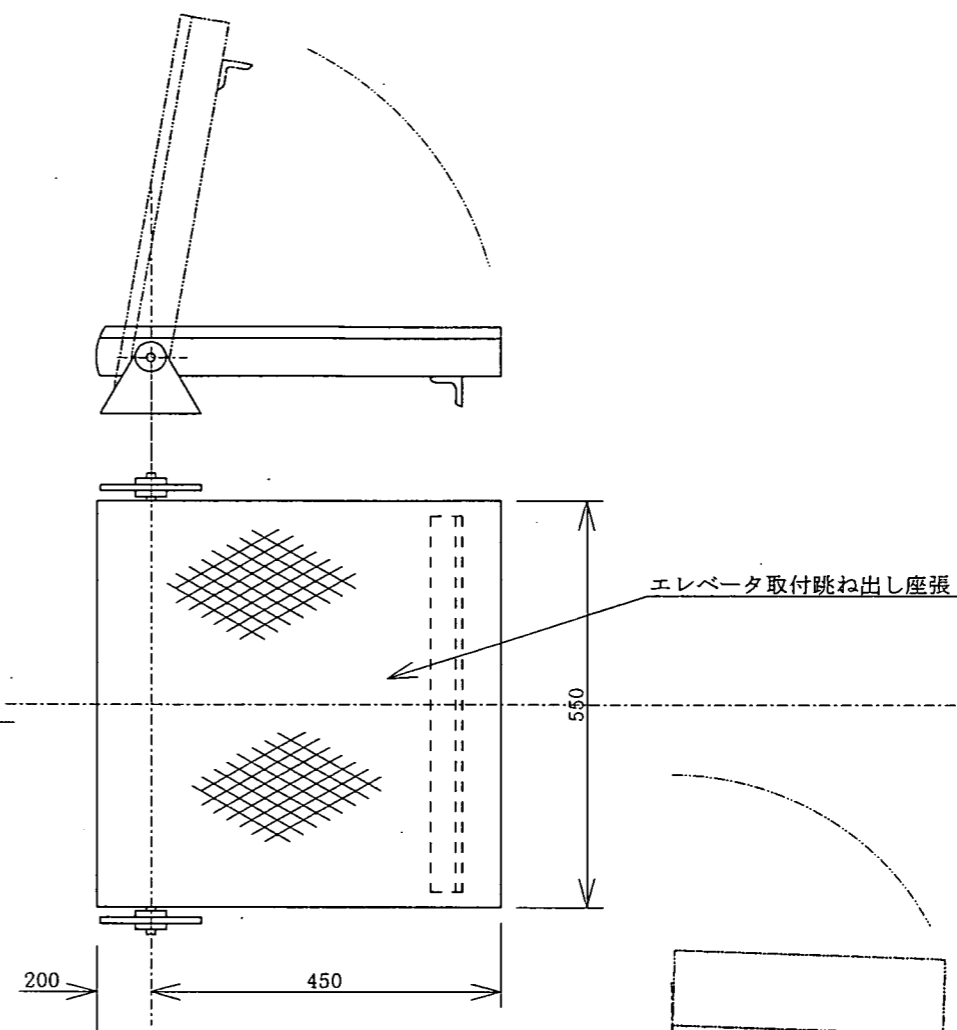
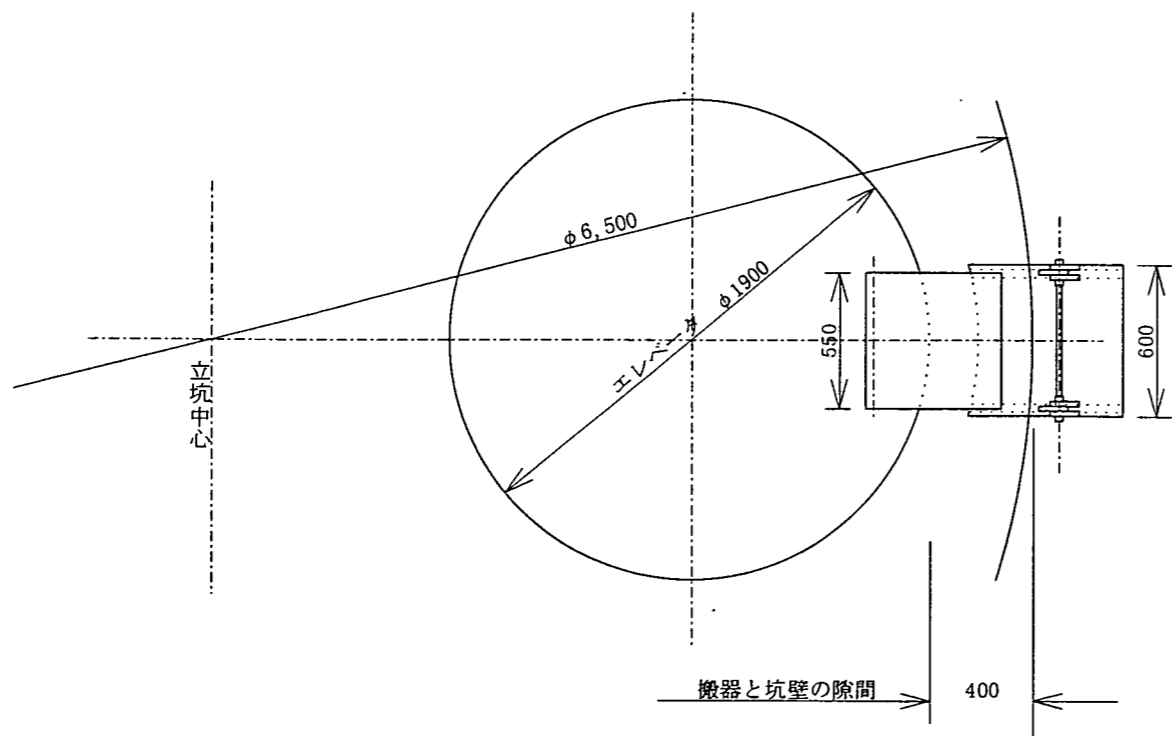
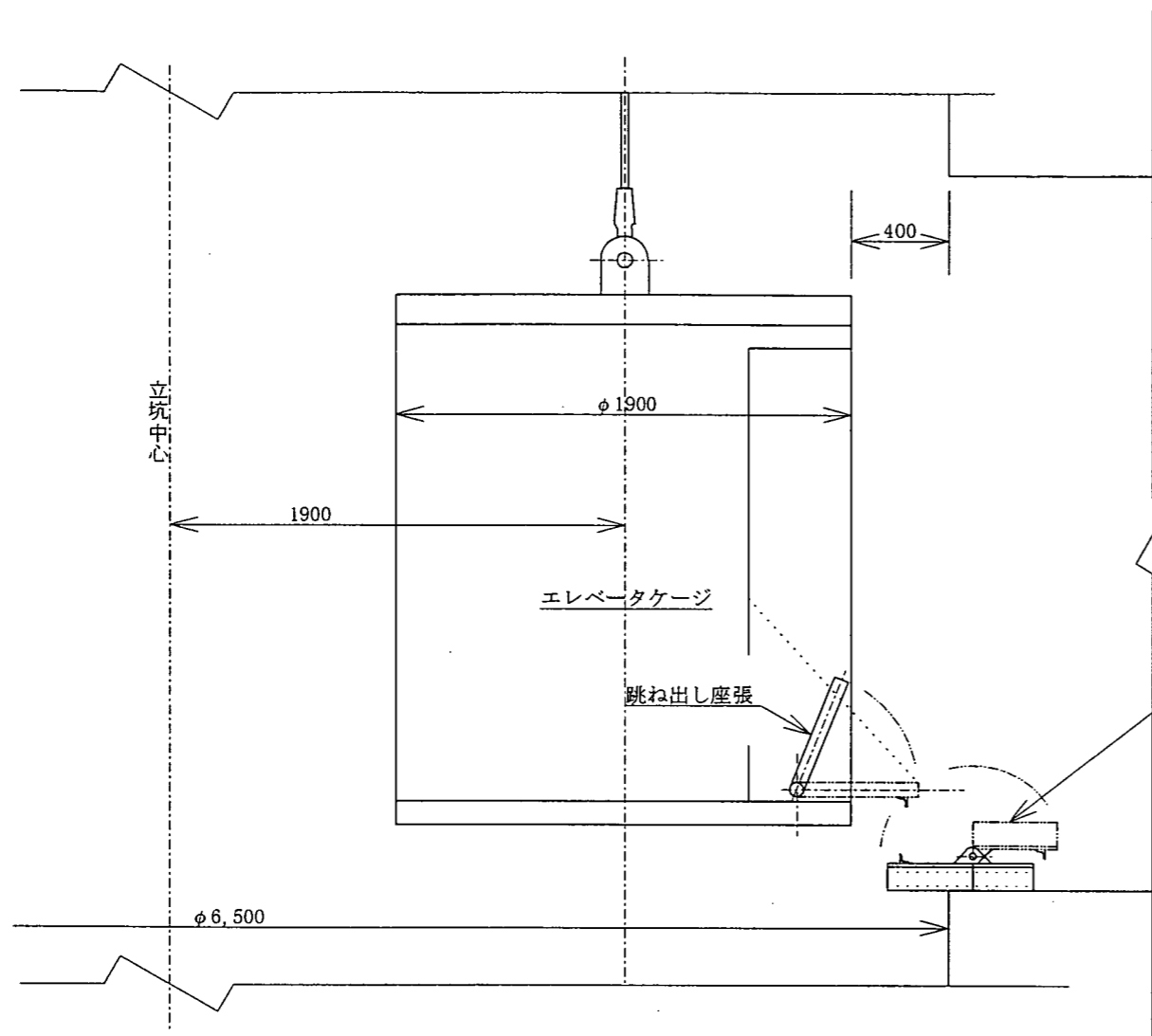


G-G 断面



H-H 断面

図番	図6-2				
図名	接続部構造・ずり搬出計画				
縮尺	1/200	1/160	年月	01-3-11	製図 片居木



ステージ側の跳ね出し座張は常時水平に跳ね出して置く
(スカフォードが通過するときに折り畳む)

図番	図 6-3				
図名	各ステージへの人員入坑				
縮尺	1/30	1/10	年月	01-3-15	製図 片居木

<第6章 参考文献>

- 1) 清水建設(株), (株)大林組, 鹿島建設(株), 大成建設(株): 超深地層研究所 地下施設の設計研究 [平成10年度] -核燃料サイクル開発機構 委託研究成果報告書-, JNC TJ 1400 99-001(1), 1999年2月
- 2) 三井鉱山エンジニアリング(株): 研究坑道建設に必要な設備及びその搬入・組立方法の調査報告書-核燃料サイクル開発機構 契約業務報告書-, 平成12年3月
- 3) 通商産業省 環境立地局監修: 鉱山保安規則 (石炭鉱山編) 平成8年版

7. まとめ

(1) 既存の大深度地下の坑道における維持管理状況の調査と課題の整理

超深地層研究所の坑道維持管理の参考とするため、類似の超深度地下施設として国内外の石炭鉱山等の地下施設を対象に、坑道維持、坑内設備維持、坑内物流、湧水対策の実状を調査し、坑道維持管理の状況を取りまとめ課題の整理を行った。

さらに、国内のいくつかの鉱山における主要設備について維持管理の考え方を調査し、具体的な維持管理方法について、法令との関連及び維持管理の実例を調査、整理した。

(2) 坑道（立坑、水平坑道）の維持管理に関する調査、計画立案

超深地層研究所の坑道及び坑内に設置される設備を想定して維持管理方法の調査を行い、望ましい坑道及び坑内設備の維持管理計画の例を立案した。

① 坑内設備の維持管理

立坑及び水平坑道内に固定して設置される各種の坑内設備、及び昇降仮設備について、その設置される環境条件や使用条件を考慮した適切な設備維持管理の考え方及び維持管理方法について法令との関連も含めて調査し計画を立案した。

調査は、坑内設備として昇降仮設備、換気（通気）設備、空調（冷房）設備、給水設備、排水設備、安全設備、電気設備を対象に、それぞれの設備について維持管理の考え方及び具体的方法を取りまとめた。また、停電時の対応策として自家発電設備の計画を立案した。

今後、超深地層研究所の坑道（立坑及び水平坑道）レイアウト、及び昇降仮設備や坑内設備の詳細設計を行い、関係先との協議の結果を踏まえて、具体的な設備の維持管理計画を策定することが必要となる。

② 坑道の維持管理

将来的に長期安定性の求められる構造物を想定して、立坑及び水平坑道の日常的管理を対象に、坑道安定性のモニタリングと維持管理の方法・技術の現状を調査し、課題を整理した。さらにこの結果を踏まえて、超深地層研究所の坑道の維持管理の考え方を提示し、望ましい維持管理計画の例を立案した。

ここでは、坑道自体の安定性の維持管理方法として、坑道内空変位の測定監視方法・技術の実状を調査し課題を整理した結果、超深地層研究所の立坑及び水平坑道の精密写真測量による定常的な測定監視計画を提案立案した。

また、立坑覆工コンクリートの安定性に着目した長期健全性向上対策と劣化度モニタリングの方法・技術について調査、課題を整理した。その結果、覆工コンクリートの劣化要因としてアルカリ骨材反応、地下水による化学的劣化に留意することが重要であること、3次元レーザスキャナによる非接触型の立坑覆工コンクリートのモニタリング計画を提案した。

③ 坑道の排水設備の維持管理

サイクル機構殿より提示いただいた研究坑道からの湧水量・排水量に基づき、立坑・水平坑道の掘削中及び完成後の排水設備について、長期間にわたる維持管理に十分配慮した排水設備計画の立案を行った。さらに、湧水量が想定より多い場合、及び少ない場合の対応策についても調査した。

湧水量が多いと立坑掘削能率の低下、揚水設備の増加等掘削作業に悪影響を及ぼすので、止水グラウト等の補助工法による湧水の止水を検討、準備しておくことが重要である。そこで、超深地層研究所立坑で掘削に支障を来すような湧水の予想される区間を想定して止水グラウトの施工検討を行い、添付資料としてとりまとめた。

(3) 立坑から水平坑道への設備、資機材等の搬入出設備の調査、計画立案

サイクル機構殿より提示いただいた立坑掘削中及び完成後の搬入出物品一覧に基づき、搬入出を考慮した立坑と水平坑道取付け部の形状と構造を設定し、水平坑道掘削・研究機材の搬出入計画、掘削ずりの搬出計画、吹付け材料の搬入計画、人員の入出坑計画の例を立案した。

計画に当たっては、特に、立坑が完成した後の中間ステージや予備ステージへのアクセスの容易さを考慮した安全設計に配慮した。

添 付 資 料 一 覧

1. 鉱山における主要設備等の維持管理関係書式の例
 - (1) 保安日誌 添付1- 1
 - (2) 巡回簿 添付1- 2
 - (3) 巻揚機精密検査（月例定期点検） 添付1- 3
 - (4) ワイヤーロープ月例点検 添付1- 9
 - (5) 立坑巻揚機付属金物精密検査記録 添付1-10
 - (6) 人を運搬する巻揚装置性能検査等報告書（定期） 添付1-11
 - (7) 主扇点検表 添付1-18

2. 建設用エレベーター・ゴンドラ設備の特定自主検査計画書の例 添付2- 1

3. 太平洋炭礦(株)釧路鉱業所における巻揚機ワイヤーロープの維持管理 添付3- 1

4. 設備機器保全の考え方 添付4- 1

5. 超深地層研究所立坑 止水グラウト施工検討書 添付5- 1

1. 鉱山における主要設備等の維持管理関係書式の例

- (1) 保安日誌
- (2) 巡回簿
- (3) 巻揚機精密検査（月例定期点検）
- (4) ワイヤロープ月例点検
- (5) 立坑巻揚機付属金物精密検査記録
- (6) 人を運搬する巻揚装置性能検査等報告書（定期）
- (7) 主扇点検表

巡 回 簿

平成 年 月 日

所長 _____ 課長 _____ 主任 _____ 課員 _____

箇 所	水位(mm)	水量(m ³ /分)	備 考
坑道			
坑道			
坑道			
坑道			
坑道			

点 検 箇 所	異常の有無及び作業	備 考
kW No.1 ポンプ		
kW No.2 ポンプ		
kW No.3 ポンプ		
kW No.4 ポンプ		
シール水ポンプ		
kW No.2 主補ポンプ		
kW No.3 主補ポンプ		
kW No.4 主補ポンプ		
kW ポンプシール水圧力		

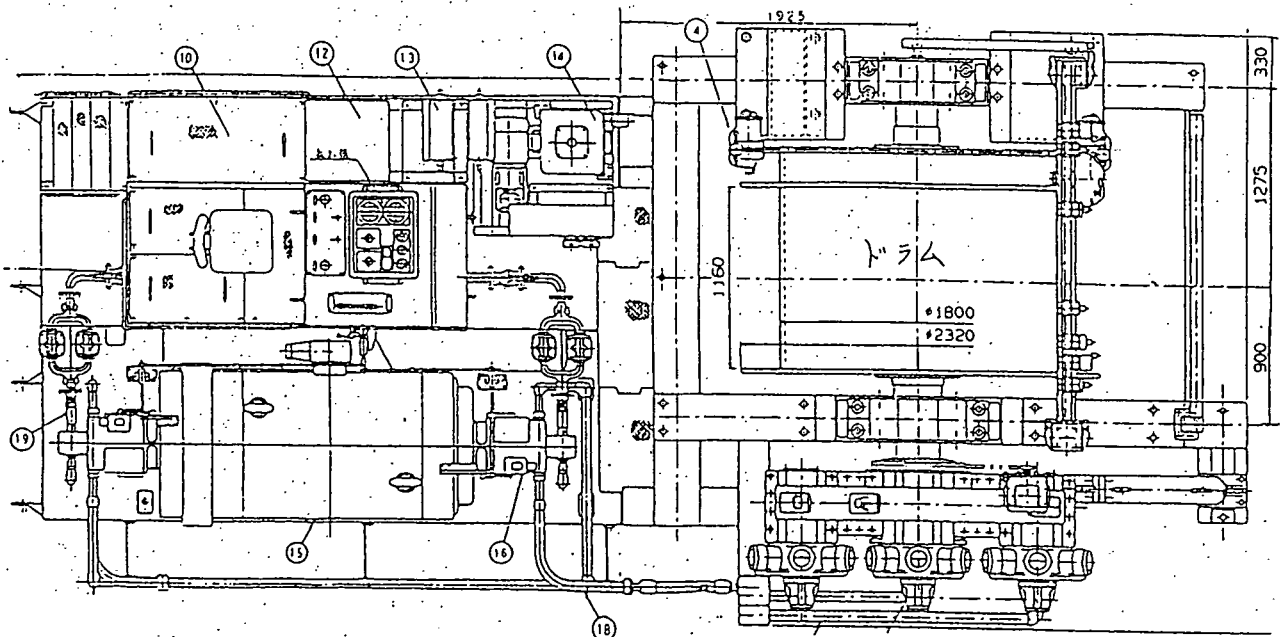
卷揚機精密検査

検査日 年 月 日

検査員

保安全管理者	保安監督員	技術	課

所長	課長	主任	課員



定期点検（月例）

No	点検箇所	点検項目	点検方法	判定基準	点検結果
1	巻胴本体	○亀裂・変形はないか	目視		
		○異常音はないか	聴音		
		○締付ボルトのゆるみはないか	目視・打診		
2	ディスクブレーキ	○亀裂・変形はないか	目視		
		○異常音はないか（回転中）	聴音		
		○制動輪とのギャップは適正か	測定（スキゲージ）	適正值 0.5mm（両側合計で）	
		○摩耗はどうか	測定（スケール）	ブレーキパッド使用限界厚さ 5mm	
3	制動輪	○亀裂・変形はないか	目視		
		○締付ボルトのゆるみはないか	目視・打診		
		○制動輪に錆、キズはないか	目視・触手		
4	巻胴軸	○亀裂・変形はないか	目視		
		○キー取付部のガタはないか	目視・打診		
		○異常音はないか（回転中）	聴音		
5	巻胴軸受	○亀裂はないか	目視		
		○ボルト・ナットのゆるみはないか	目視・打診		
		○Vリングの取付状態は正常か	目視		
		○給油は適正か	目視		
点検実施者	氏名	印	責任者	氏名	印

○1ヶ月に1回、上記の項目を点検下さい。

○点検結果は符合で記入し異常が発見された場合は、直ちに担当者に報告し処置下さい。

○機器の作動に支障がないように清掃を完全に行って下さい。

記入要領

○印：良

△印：点検者自身処置したもの

×印：処置を要するもの

No	点検箇所	点検項目	点検方法	判定基準	点検結果	
6	油圧ユニット	○異常音はないか	聴音			
		○油量不足はしていないか	目視 (油面計)	油量 500 ㍓ (上・下限目盛間にあること)		
		○圧力は正常か	目視 (圧力計)	常用圧 (153kgf/cm ²) ブレーキ解放圧 (126kgf/cm ²)		
		○バルブの作動は正常か	目視・確認	電磁弁, リリ-7弁, 流量調整弁		
		○異常温度上昇はないか	目視 (温度計)	60℃以下		
		○油漏れはないか	目視			
7	減速機	○異常音・異常振動はないか	聴音・触手			
		○異常温度上昇はないか	触手・測定			
		○油量は適正か	目視 (油面計)			
		○油漏れはないか	目視	油量 166 ㍓		
		○ボルト・ナットのゆるみはないか	目視			
8	基礎ボルト	○ゆるみはないか	目視・打診			
9	ワイヤーロープ	○素線切れはないか	目視	素線破断 10% (断層が 2~3 本/ル ツチであれば取替)		
		○直径の減少はないか	測定 (ノギスにて測定)	取替基準 摩耗 7% φ31.5 (公称)		
		○形くずれおよび腐食はないか	目視			
		○キンクはないか	目視			
		○給油は適正か	目視			
		○ロープエンドのボルト, ピン, クリップ等がゆるんでいないか	目視・打診			
点検実施者		氏名	印	責任者	氏名	印

○1ヶ月に1回、上記の項目を点検下さい。

○点検結果は符合で記入し異常が発見された場合は、直ちに担当者に報告し処置下さい。

○機器の作動に支障がないように清掃を完全に行って下さい。

記入要領

○印：良

△印：点検者自身処置したもの

×印：処置を要するもの

No	点検箇所	点検項目	点検方法	判定基準	点検結果	
10	オイル-ラ-	○水漏れはないか	目視			
		○冷房能力は十分か	目視			
11	受けローラ	○摩耗はないか	目視			
		○異音はないか	聴音			
12	作動油	○オイルタンクのドレン 抜きにより1ℓ程度の サブリングを取り、概略 検査を実施のこと	目視			
13	深度計	○正しい状態に作動して いるか	目視			
		○チェーンのゆるみ はないか	目視			
14	操作関係	○操作ハンドルとポンプ レバーの中立はあって いるか	操作			
		○異常なガタ、油切れは ないか	目視			
15	遊動シーブ	○亀裂・変形はないか	目視			
		○ボルト・ナットの ゆるみはないか	目視・打診			
		○シーブの振れはないか	目視			
		○溝の摩耗は正常か	目視・測定	溝ゲージにて測定		
		○給油はよいか	目視			
16	電 源	○電源の変動はないか	測定			
点検実施者		氏名	印	責任者	氏名	印

○1ヶ月に1回、上記の項目を点検下さい。

○点検結果は符合で記入し異常が発見された場合は、
直ちに担当者に報告し処置下さい。

○機器の作動に支障がないように清掃を完全に行っ
て下さい。

記入要領

○印：良

△印：点検者自身処置したもの

×印：処置を要するもの

No	点検箇所	点検項目	点検方法	判定基準	点検結果
17	電動機	○異常音が出ていないか 又、振動がひどくないか	聴音・触手		
		○各端子の締付け状態は 良いか	目視・打診		
		○締付けボルトの緩みは ないか	目視・打診		
		○絶縁抵抗は良いか	測定	1MΩ以上	
		○軸受部の点検	目視	グリースの補給	
		○電動機が加熱してい ないか	触手		
		○通風状態は良いか	触手		
18	制御装置	○各端子の締付け状態は 良いか	目視・打診		
		○締付けボルトの緩みは ないか	目視・打診		
		○各コンタクトは正常に 動作しているか	目視 動作確認		
		○各リレーは正常に動作 しているか	動作確認		
		○接点の接触状態は良い か	目視		
		○コイルの焼損はないか	目視		
		○発錆・塵の堆積はない か	目視		
		○ランプは正常か	目視		
		○サーマルリレーの設定 値 は良いか	目視		
		○操作スイッチの動作は 正常か	目視 動作確認		
		○保安回路は正常に動作 しているか	動作確認		
○操作スイッチの動作は 正常か	動作確認				
点検実施者	氏名	印	責任者	氏名	印

○1ヶ月に1回、上記の項目を点検下さい。

○点検結果は符合で記入し異常が発見された場合は、
直ちに担当者に報告し処置下さい。

○機器の作動に支障がないように清掃を完全に行って
下さい。

記入要領

○印：良

△印：点検者自身処置したもの

×印：処置を要するもの

No	点検箇所	点検項目	点検方法	判定基準	点検結果	
19	検出器	○動作は正常か	目視			
		○取付ボルトの締付状態は良いか	目視・打診			
		○ケーブルが断線していないか	目視			
20	ケーブル	○断線はしていないか	目視			
		○無理な張力はかかっているかないか	目視			
点検実施者		氏名	印	責任者	氏名	印

○1ヶ月に1回、上記の項目を点検下さい。

○点検結果は符合で記入し異常が発見された場合は、直ちに担当者に報告し処置下さい。

○機器の作動に支障がないように清掃を完全に行って下さい。

記入要領

○印：良

△印：点検者自身処置したもの

×印：処置を要するもの

ワイヤーロープ月例点検

No _____

財番	番号	設置箇所					深度	巻揚機				規定荷重		ロープ									
巻揚機	電動機							型式	製作所	馬力	索引力	速度	ロープ容量	人	その他	構造	直径	ピッチ	規定切断荷重	実際切断荷重			
WE	M																						
使用状況		鋼索						実測				備考											
								直径		ピッチ													
年月日	巻回数			取付年月日	製作所	製番	使用長	振替切詰															
	人	其他	合計					方数	天													地	回数

立坑巻揚機付属金物精密検査記録

No _____

年月日	コース元	64*150 リンク		スィーベル	三角プレート		40 シャックル		30 シャックル		ロット	28 シャックル		リンク	ロット	28 シャックル		30 シャックル		検査員
	亀裂の有無 その他	割ピン 有無	亀裂の有無 その他	回転の良否 表面の状態	割ピン 有無	亀裂の有無 その他	割ピン 有無	亀裂の有無 その他	割ピン 有無	亀裂の有無 その他	亀裂の有無 その他	割ピン 有無	亀裂の有無 その他	亀裂の有無 その他	亀裂の有無 その他	割ピン 有無	亀裂の有無 その他	割ピン 有無	亀裂の有無 その他	
年 月 日																				
年 月 日																				
年 月 日																				
年 月 日																				
年 月 日																				
年 月 日																				
年 月 日																				

人を運搬する巻揚装置性能検査等報告書

(定期)

施設概況

認可番号					
設置箇所					
運転区間	起点		終点		延長
立坑		坑道の構造			傾斜
原動機			ロープ		
種類			ケージ		カウンターウェイト
型式		種類・構造			
出力		直径			
回転数		速度	最大	-----	最大
雷汗			平均	-----	平均
雷流		素線径			
巻胴			長さ		
型式		抗張力			
径及び幅		経歴			
信号装置			制動機		
無線		型	常用		
有線		式	非常用		
その他					
応答の有無					

保安装置		ケージ・車両・軌条・その他	
深度指示器		連結車数	
過巻差防止装置		救急車型式	
速度超過防止装置		軌間	
非常スイッチ		最小曲線半径	
過負荷保護装置		橋梁・栈橋	
停車時その他		ガイド	
ブレーキクラッチロック		ケージ	
ブレーキ-巻揚指示装置		ケージの自重	
速度計			
速度器(スピードック)		搭乗定員	
衝撃防止装置		搭乗員重量	
墜落防止設備		コースの種類	
その他		加減-カイト自重	

ヘッドシープ径		ロープの緊張角度	ケージ	-----
フリートアングル		ロープの緊張角度	加減-カイト	-----
フリートアングル		D/d		

速度制御方法 (概略)

点検箇所及び点検結果

点検箇所		状況	結果
原動機			
巻揚機			
制動機			
付属装置			
連結金具			
信号装置			
ロープ			
斜	坑道		
	軌道・道床		
	栈橋		
	人道(前方監視の良否状況も)		
	ヘッドシーブ		
坑	兼用斜坑における遡走防止装置の誤動作防止の方法及び作動状況		
	その他		
立	やぐら		
	ヘッドシーブ		
	ケージ		
	バントン		
	ガイド		
	立坑側壁の状況		
坑	墜落防止施設		
	テールロープ		
	その他		
点検結果			

機能検査

(1) 絶縁抵抗、接地抵抗及びモーターギャップ測定

項目	測定値		備考
主電動機絶縁抵抗	モーターギャップ ギャップ許容限度 (以下)		
R-E			
S-E			
R-S			
信号回路絶縁抵抗			
操作回路絶縁抵抗			
保安回路絶縁抵抗			
接地抵抗			

※注 備考欄には、測定計器等について記載のこと。

(2) 過負荷保護装置試験及びLVR等試験

項目	リレー型式	調整値 (負荷定格の%)	原動機定格電流		CT比	備考
			測定値	電流	時間	
過負荷保護装置						
LVR等	不足電圧継電器	整定	試験結果	使用計器		

(3) 保安装置試験

項目	動作状況	結果	項目	動作状況	結果

*注 保安回路・警報回路等において、機能検査で作動試験のできなかつたもの例えば、ブレーキと電源・コントローラー電源のインターロック・ドアと信号・ジャンクションと信号のインターロック・無線電源と人巻のインターロック・油圧または圧気の異常低下・ブレーキとクラッチのインターロック・ブレーキ摩耗・警報等を記載すること。

機能検査

(4) 主制動機耐力試験

原動機定格電流

試験回数	試験電流	状況
①		
②		
①		
②		

*注 試験は定格電流の120%を原則とする。

(5) 常用制動試験

試験条件

区分	回数	試験箇所	速度	制動距離	制動時間	状況
巻揚	①					
	②					
巻卸	①					
	②					

(6) 非常制動機試験

試験条件

区分	回数	試験箇所	速度	制動距離	制動時間	遮断から制動機が効き始めるまでの	状況
巻揚	①						
	②						
巻卸	①						
	②						

*注 1. 立坑ケーベ巻については、スリップの有無を確認すること。

2. シャクリ防止施設の有無を()内に記入すること。

(7) 過巻・過卸試験

試験条件

区分	試験箇所	試験速度	制動距離	制動時間	重錘重量	停止点より障害物までの距離
巻揚						
巻卸						

*注 1. 別添略図に作動位置等記入すること。

2. 障害物の名称を()内に記入すること。

(8) 過速試験

調整速度

m/分(常速の115%)

回数	試験箇所	速度	制動距離	制動時間	重錘重量	過速率	状況
①							
②							

(9) スピードチェック装置試験

1) 60%スピードチェック

調整速度 m/分 (常速の %)

区分	回数	試験速度	通過の有無	停止位置	備考
巻	①				
	②				
揚	①				
	②				
巻	①				
	②				
卸	①				
	②				

2) 30%スピードチェック

調整速度 m/分 (常速の %)

区分	回数	試験速度	通過の有無	停止位置	備考
巻	①				
	②				
卸	①				
	②				

- ※注 1. 不通過試験は、調整値に対する通過不能限界速度で行うこと。
 2. 通過試験は、調整値に対する通過可能限界速度で行うこと。
 3. 備考欄には、スピードチェック装置の方法及びチェックは、点チェックか区間チェックかを記載すること。
 4. 別添略図に作動地点を記入すること。

※ (4) ~ (9) の試験には、オシログラフ計測を行い、そのチャートを添付すること。

人を運搬する巻揚装置の予備調査表

(札幌保安認人(巻)第 号)

鉱山名		施設名	人を運搬する施設
作成者職氏名 (副管以上の者)	印	作成年月日	

1. ロープ (テールロープについても記載すること。) 現在 (カウンターウェイトロープは別紙記載)

	現在ロープ	前回ロープ	前々回ロープ
構造・直径			
メーカー名			
取替年月日			
延べ使用日数			
延べ使用回数			
損傷・摩耗の多い箇所			
同上状況			

2. ガイド及びスラセ (平成 年 月 日検査)

取替年月日	
摩耗状況	
クリアランスの許容範囲	
扉の最大クリアランス(断)	

3. ケージと障害物との間隔 (平成 年 月 日検査)

障害物の種類	
最小間隔	
最小間隔の場所	

4. 立坑・斜坑 (平成 年 月 日)

坑道の変形の有無と その状況・場所	
バントンの変形の有 無とその状況・場所	

5. 湧水

湧水量	
水管	
湧水場所	

6. 精密検査 (最近のもの)

実施年月日	
検査係員名	
機械	_____
電気	_____
坑内(坑道・軌道)	

7. 巻揚装置(人車及び付属装置を含む)の事故、故障及び補修状況(過去2年間について詳細に記載すること。)

(機械・電気・坑道・軌道の別)

年月日	事故・故障及び補修状況

8. 予備検査

実施年月日	
実施者名	
責任者	_____
機械	_____
電気	_____
坑内(坑道・軌道)	

*注 検査結果を添付すること。(オシロチャート、ロープテストチャート等、枕木状況写真を含む。)

第 立坑

巻上機定期検査表

平成 年 月 日 () 検査

保安統括者	保安技術 管理者	保安監督員	探鉱課長	施設課長	電気保安係員			機械保安係員			運転員	電気検査員	機械検査員
-------	-------------	-------	------	------	--------	--	--	--------	--	--	-----	-------	-------

検査箇所	検査結果	検査箇所	検査結果		電 動 機		抵 抗 器		保 安 装 置		
			ケージ側	カウンター・ウェイト側							
ベース	据付状態	ケージ・カウンター・ウェイト	連結部の摩耗・損傷		750kw 絶縁抵抗	1次	MΩ	絶縁抵抗	MΩ	過巻防止	カムスイッチ
	亀裂・変形		本体	2次		MΩ	接地抵抗	Ω	ランマク		
	基礎ボルト		取付ボルト	接地抵抗		Ω	配線		立坑		
ランマク	キーの嵌合		ガイドシュー	軸受反負荷側				抵抗体		過卸防止	カムスイッチ
	ボルトの損傷・摩耗		ガイドローラー	軸受 負荷側				接触器			ランマク
	ボルトの潤滑		ダンピングローラー	配線						過速防止(115%)	
軸受			屋根および乗り場	集電装置						速度検出	(70%)
			台車歯止め	機械温度		℃	制 御 機				(30%)
			中段デッキ	周囲温度		℃				非常用足踏開閉器	
			吊り綱	負荷電流/定格電流		/ A	絶縁抵抗	MΩ	クラッチインターロック		
		ヘッドシュー	ヘッドシュー本体	LFG 電動機		接地抵抗	MΩ	接地抵抗	Ω	制動把手インターロック	
			軸受の状態	接地抵抗		Ω	配線	接地抵抗	Ω	押上機インターロック	
			ロープ溝	スターター・ローター・ギャップ				接触子		制動力チェック	
			取付ボルト	(上限 mm)				自動回路	MΩ	圧気圧力開閉器	
ギヤ		ギヤの状態	① ②						自動手動切替インターロック		
		キーの嵌合							速度計		
		作動油の量							制動位置警報ベル		
		アキュムレーターの状況					配 電 盤	制 動 機	ブレーキ・リニア 摩耗警報		
ドラム		ラインとドラムの間隙	1) 6) 1) 6)	気中開閉器		押上機	絶縁抵抗	MΩ	アキュム油量低下		
		*常用ブレーキ	2) 7) 2) 7)	電流計		接地抵抗	Ω	DC 電源低下			
		3) 8) 3) 8)	計器用	変圧器	配線		PG 電圧差				
		4) 9) 4) 9)	変流器	付属変圧器		PG 異常					
深度計	指針の正確度	5) 10) 5) 10)	配線	開閉器		全域速度監視					
		1) 4)	表示灯		立坑スリップ異常						
		2) 5)	絶縁抵抗	MΩ	信 号 装 置	335, 635Vベル切替					
過巻・過卸	動作種類	過巻動作位置	過卸動作位置	過電流継電器		タップ	A	回路絶縁抵抗	MΩ	ロープたるみ	
	ギヤード1号	mm	mm	継電器		VA		プラット信号			
	ランマク2号	mm	mm	継電器作動試験							
	現地 L.S. 2号	mm		C/T比		/ A					
特記事項		特記事項									

採鉱課長	運搬係	技管係	施設課長	施設課

坑外 kW 主扇点検表

点検日	平成 年 月 日
点検者	

点検箇所	点検項目	点検結果	点検箇所	点検項目	点検結果
基礎	亀裂・崩壊の発生		No.1 軸受	給油	
基礎ボルト	弛み・折損			軸受温度	℃
ケーシング	変形・腐食・亀裂		No.2 軸受	給油	
	ボルトの弛み・損傷			軸受温度	℃
	運転時の異常音・振動		No.3 軸受	給油	
隔壁	腐食・亀裂・崩壊の発生			軸受温度	℃
入気部	変形・腐食・亀裂		No.4 軸受	給油	
伝動軸	腐食・亀裂			軸受温度	℃
カップリング	No.1 カップリング		No.5 軸受	給油	
	No.2 カップリング			軸受温度	℃
サポーター	弛み・折損・リンクの状態		電動機負荷	給油	
制動機	ライニングの状態			軸受温度	℃
動翼	腐食・摩耗・スケール		電動機反負荷	給油	
	ケーシングとのギャップ			軸受温度	℃
動翼ボス	腐食・摩耗・スケール				

	1次側	切替版	運転モード	ファン圧力	吸込温度	室内温度
運転電圧	V		商用運転	mmAq	℃	℃
運転電流	A	A	運転周波数	Hz	%	

特記事項	振動計	No.1	No.2
	x		
	y		
	z		

2. 建設用エレベーター・ゴンドラ設備の特定自主検査計画書の例

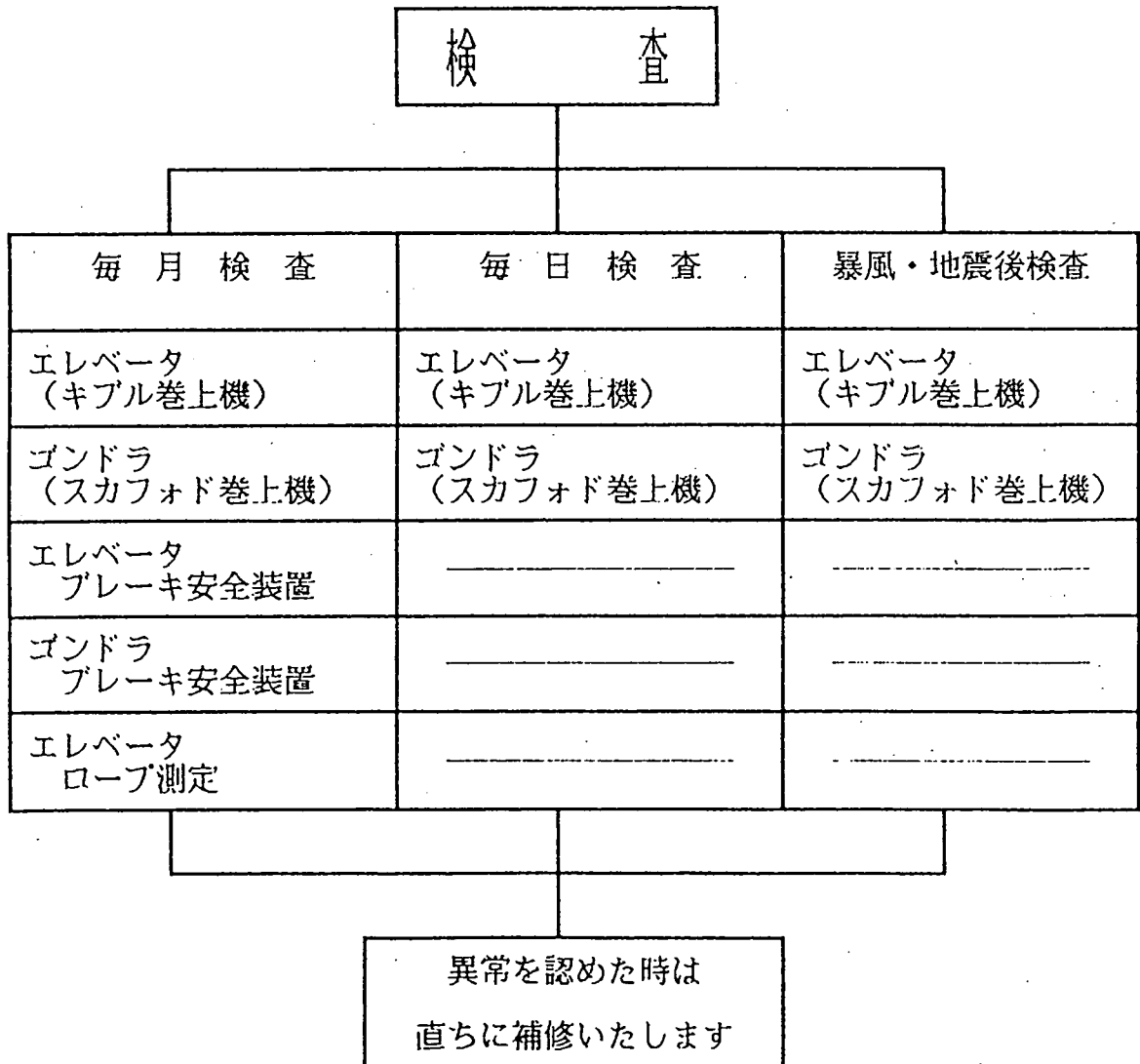
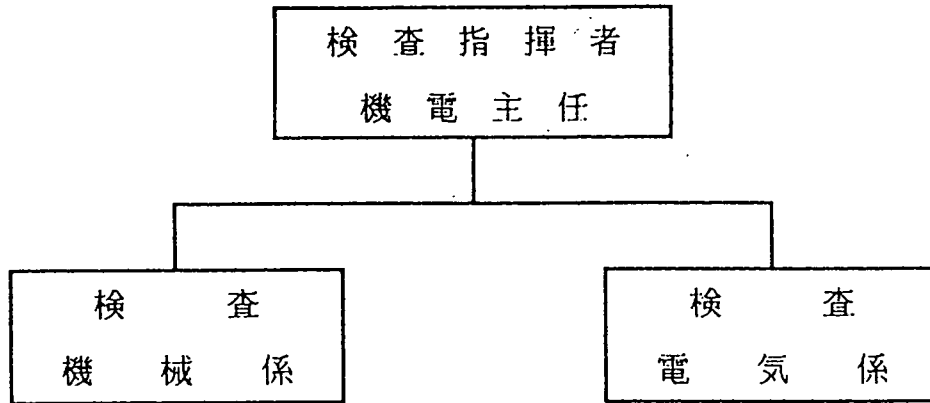
エレベーター・ゴンドラ設備

特定自主検査計画書

株式会社 支店

作業所

検査系統表



エレベーター定期自主検査表

所 長	工主任	機主任	係

機 名：キブル巻上機

1. 機関関係

検査年月日 平成 年 月 日

項 目	方 法	摘 要	適 否
常用ブレーキ	目 視 作 動	亀裂・変形はないか	
		ボルトの緩みはないか	
		ブレーキシリンダーのストロークの余裕は良いか	
非常用ブレーキ	//	//	
ロープ取付金具 (ドラム内) 基礎ボルト	目 視 打 診	緩みはないか 脱落はないか	
減 速 機	//	//	
各部メタル	//	//	
ド ラ ム	//	//	
深 度 計	//	//	
ブレーキ 油圧ユニット	//	噛み合わせは良いか 摩耗はないか ボルト・キーの緩みはないか 過熱はないか 亀裂はないか 摩耗はないか オイルリング・油量は良いか キー・ボルトの緩みはないか 亀裂・損傷はないか スプロケットチェーン・キーは良いか 振動はないか 油圧は良いか ポンプ油圧は良いか 安全装置は良いか 油質は良いか 漏油はないか	
検査所見 及び 是正内容			

ゴンドラ ゴンドラ巻上機 定期自主検査表

所 長	工主任	機主任	係

機 名：スカフォード・巻上機

検査年月日 平成 年 月 日

項 目	方 法	摘 要	適 否
巻過防止装置	目 視	各検出スイッチ良否	
	作 動	チェーン切れの有無	
ブ レ ー キ	目 視	各ボルトの緩みの有無	
		各ボルトの緩みの有無	
	作 動	調整の良否	
		レバー機構の良否	
		漏油の有無	
		ライニングの摩耗	
		締め代の良否	
		作動の良否	
		亀裂・摩耗・破損の有無	
		割ピン脱落の有無	
ロ ー プ	目 視 (地巻)	注油状況の良否	
		地巻状態の良否	
	目 視 (中間)	ロープ固定の良否	
		ロープ巻付けの良否	
連 結 金 具	(ロープ カット)	断線の有無	
		塗油状況の良否	
		変形の有無	
	目 視 (分配 金具)	腐蝕・変形	
		亀裂・損傷	
		摩耗の状況	
そ の 他	目 視 (ライター)	ピンの状況	
		割ピンの有無	
		腐蝕・変形	
		亀裂・損傷	
検査所見 及び 是正内容		ビン孔の摩耗	
		フレームのボルト緩み良否	
		メタルの摩耗	
		ライターの塗油良否	
		ライター受け部の状況	

エレベーターブレーキ安全装置 定期自主検査表

所 長	工主任	機主任	係

機 名：キブル巻上機

検査年月日 平成 年 月 日

項目	検 査 箇 所	適 否	摘 要
常 用	作 動 状 況		
	結合部の良否		
	ボルト緩みの有無		
	漏油の有無		
非 常 用	作 動 状 況		
	結合部の良否		
	ボルト緩みの有無		
	漏油の有無		
そ の 他	油圧ポンプの作動状況		
	パイプラインの漏油状況		
	油圧ポンプの圧力状況		
	異常音の有無		
測 定 ・ 試 験	ストローク	mm	
	締め代	mm	
	降下時間	sec	
点検所見 及び 是正内容			

ゴンドラ
ゴンドラ巻上機

安全装置 定期自主検査表

所 長	工主任	機主任	係

機 名：スカフールド巻上機

検査年月日 平成 年 月 日

項目	検 査 箇 所	適 否	摘 要
爪 装 置	作 動 状 況		
	結合部の良否		
	ボルト緩みの有無		
	漏油の有無		
ブ レ ー キ	作 動 状 況		
	調整の良否		
	ボルト緩みの有無		
	漏油の有無		
	レバー機構の良否		
	ライニング摩耗状況		
	締め代の良否		
測 定 ・ 試 験	ストローク	Ⅲ/Ⅲ	
	締	Ⅲ/Ⅲ	
	降下時間	sec	
点検所見 及び 是正内容			

エレベーター 暴風・地震後の点検表

所 長	工主任	機主任	係

機 名：キブル巻上機

検査年月日 平成 年 月 日

項 目	方 法	摘 要	適 否
基礎ボルト	目 視	緩みの有無	
	打 診	脱落の有無	
各部メタル	"	過熱の有無	
		亀裂の有無	
		オイルノグ・油量の良否	
		各ボルト緩みの有無	
深度計	"	スロケット・チェン・キー の良否	
		振動の有無	
ロープ取付金具 (ドラム内)	"	緩みの有無	
		脱落の有無	
ブレーキ	"	亀裂・変形の有無	
		ボルト緩みの有無	
ドラム	"	キー・ボルト緩みの有無	
		亀裂・損傷の有無	
点検所見 及び 是正内容			

ゴンドラ ゴンドラ巻上機 日常点検表

所 長	工主任	機主任	係

機 名：スカフォード・巻上機

検査年月日 平成 年 月 日

項 目	方 法	摘 要	適 否
ロープ	目 視 (地巻側)	地巻状態の良否	
		ロープ固定の良否	
		ロープ巻付の良否	
	目 視 (中 間)	断線の有無	
		塗油状況の良否	
		変形の有無	
信号装置	聴 音	異常の有無	
電動機	目 視	振動・過熱の有無	
		電流の良否	
ブレーキ	//	作動の良否	
		ボルト緩みの有無	
		漏油の有無	
深度指示計	//	駆動機構の良否	
		キー・チェーン等の良否	
保安回路	作 動	作動の良否 (手動で作動)	
点検所見 及び 是正内容			

エレベーターの日常点検表

所 長	工主任	機主任	係

機 名：キブル巻上機

検査年月日 平成 年 月 日

項 目	方 法	摘 要	適 否
常用ブレーキ	作 動 目 視	作動の良否 (ホトの緩み・漏油はないか)	
非常用ブレーキ	//	(//)	
深度指示計	目 視	駆動機構・キー・チェーン等の 異常、ガタの有無	
油圧操作	//	漏油の有無	
		圧力の良否	
ギヤ噛合せ	触 感 聴 音 目 視	異常音・過熱の有無	
		油量良否	
各メタル	//	振動・過熱の有無	
		オイルリング回転の良否	
		オイル・グリス給油の良否	
電動機	//	振動・過熱の有無	
		電流の状態の良否	
ロープ	目 視	異常の有無	
信号装置	聴 音	異常の有無	
保安回路	作 動	作動の良否 (手動で作動)	
メータースタンド	目 視	作動の良否	
トップシーブ	目 視	異常の有無	
点検所見 及び 是正内容			

エレベーター ロープ定期自主検査表

所長	工主任	機主任	係

検査年月日 平成 年 月 日

ロープ径・長さ	
取付年月日	

巻回数	前回累計	
	今回累計	

測定箇所	ロープ径				摘要
	1	2	3	平均	
コース元					
5m					
10〃					
20〃					
30〃					
40〃					
50〃					
100〃					
150〃					
200〃					
250〃					

摩耗の程度	
ロープ変形箇所	
線切れ箇所	
塗油状況	
腐蝕の程度	
固着の状況(フロム・コース)	

3. 太平洋炭礦(株)釧路鉱業所における巻揚機ワイヤーロープの維持管理

太平洋炭礦(株)釧路鉱業所における巻揚機ワイヤーロープの維持管理

「資源・素材'99」(平成11年11月)、及び「資源・素材2000」(平成12年10月)の
企画発表・一般発表(B:ワイヤーロープ)講演資料を参考にとりまとめ

太平洋炭礦(株)釧路鉱業所は、釧路市沖合いの海底下を採掘フィールドとする都市型海底炭鉱である。人員及び資材の輸送は、その立地上の制約から、斜坑に設置した巻揚機によるワイヤーロープと車両による方式を採用している。平成7年に設備された第2斜坑巻揚機は、ワイヤーロープ長8,100m、人車運行長6,625mという世界最大規模の斜坑巻揚機である。

釧路鉱業所では、ワイヤーロープの連続監視装置を導入し、その計測性能が実証されるにしたがい、維持管理技術も大幅に向上し、試験期間を含めると51ヶ月の長期にわたる使用が可能になった。

1. ロープの維持管理に関する規制

石炭鉱山保安法規に基づき保安規程が制定され、巻揚機に使用されるロープの維持管理項目は、次のように決められている。

- ①目視及び打診等による毎日検査の実施
- ②精密検査の実施(1回以上/4ヶ月)
- ③ロープ油の塗布(1回以上/月)、コース元の切り捨て(1回/3ヶ月)

使用期間18ヶ月を超える場合は管理者許可とする。

- ④ロープの取り替えまたは修理の該当事項
 - ・ロープの安全率が80%以下に減少したとき
 - ・ロープの長さ1.0mの間に、同一ストランドにおいて、3本以上の素線切れを生じたとき
 - ・局部的に変形(やせ、またはふくれ)したとき
 - ・ストランドのよりが著しく乱れたとき
- ⑤新品ロープの場合、4回以上の試運転を行い、ロープのより・伸び等について検査する。
- ⑥コース元の取り替え及びロープの切り捨て等を行った場合、1回以上の試運転

を行い、その部分について検査する。

また、年度ごとの自主保安取り組み計画の中においても、ロープテスターの実施（1回／6ヶ月）等の腐食検査を主体とした実施項目が記載されている。

2. ワイヤロープ連続監視システム

上記に示したロープの維持管理に関する検査は、人間の五感によるものがほとんどであり、業務に携わる者の技術的見識及び習熟度によって、数値に差異が生じることとなり、高い信頼性を得るために、ロープの連続監視が求められた。そこで、磁気検査装置、直径計測装置、張力測定装置からなる連続監視システムが導入されている。

斜坑巻の運行にともなって記録されるデータは、ロープ全長に沿った漏洩磁束探傷記録、全磁束探傷記録、ロープ直径（3方向及びその平均）、ロープ張力の変動、移動距離とロープ速度、ロープの山数（よりこぶ）に対応するパルス列の、計10要素である。

3. 使用ロープの事象履歴

ロープは、平成7年2月に試験開始、平成11年5月まで約51ヶ月使用された。その間のロープ履歴を表-1に示す。

これらの連続監視システムで検知された事象に関して、人間の五感による計測では事前に把握できたものはなく、また、ロープテスター装置による計測においても、ほとんど検知できなかった。

表-1 ロープの事象履歴

年月日	事象	原因・対応
1995/2/23	新品ロープを巻き付けする。	
1995/4/27	営業運行を開始する。	
1995/11末	ロープ監視システムが稼動する。	
1996/10/9	計測データに異常信号と直径減少数値及び波形が出現する。	コース元側86~87m付近が局部的に落ち込み。
1996/10/17	ロープ内部の詳細調査を実施する。	直径の減少は、繊維芯の一部断線と判明する。
1996/11/10	繊維芯約1.3mを入れ替える。	繊維芯入れ替え後、異常信号・波形は消滅する。
1996/12/5	コース元側202.8m付近の計測データに異常信号を捕捉する。	異常信号は、ストランドの $\delta 0$ 断線と推定する。
1996/12/11	外観・内部検査で異常なし。	メーカーにて模擬断線サンプルを作成し、計測比較を実施する。
1997/4/28	コース元側6、500m付近の計測データに異常信号を捕捉し、調査するも原因を特定できず。	
1997/5/4	ロープ天地振替を実施する。	コース元側1,600m付近の外観・内部検査を実施したが、特定できず。その後、波形が小さくなったことから、何らかの磁性体の付着と推定する。
1998/11/6	計測データの異常信号と直径減少数値及び波形が出現する。	繊維芯の3ストランド中の2ストランドが断線のため、繊維芯を2.5m入れ替える。
1998/11/10	コース元側148m付近の局部的な落ち込みにより、内部検査を実施。	
1998/12/13	コース元側153mを切り捨て。	詳細調査するも、サンプリング抽出の誤りにより、原因を特定できず。メーカーサイドの調査においても異常がみられず、断線ではなく、局部的な摩擦によるものと推定する。
1999/5/2	予備新品ロープに更新する。	抜き取りロープは、メーカーに持ち帰り、各種詳細調査を実施する。

4. ロープの経年変化の傾向とその対策

図-1は、1代目のロープの計測開始から使用終了までと、2代目の計測結果とをあわせて、ロープ直径の推移を示したものである。平均直径は、使用開始後2ヶ月程度の間で急激に減少し、その後は全体として若干下に凸の指数関数的ななだらかな減少を示す。直径は、4年間の使用を経ておよそ1.5mm減少する。一方最小直径は、全体として平均直径より0.4mm程度小さい値を示すが、使用開始後1年半ごろから、コース元付近の劣化の進行を反映して、かなり急激な低下をみせる。2年経過時点での天地振替の実施によって、この劣化部分はドラム地巻部に収められてしまい、逆にもともと巻ドラムにあってほとんど新品であった部分がコース元となる。したがって、振替直後のコース元付近の最小直径は、使用開始後2ヶ月程度まで回復している。それ以降は、平均直径よりもかなり速く減少し、その部分の最小直径は1年程度で全体とほぼ同じ直径までに低下する。

天地振替は、使用開始後1年半後からのコース元付近の急激な劣化を停止させ、振替後その効果を約1年間持続させる働きがあるといえる。また、振替後1年半の時点でコース元の長尺切り詰めが実施され、劣化進行は未然に防がれている。

直径の変化などの観点から、他の部分と比べ、コース元がかなり速く劣化する。このことは、従来から経験されてきたことで、ドラム巻き斜坑設備の一般的傾向と認められる。その原因は、必ずしも明らかであるとはいえないが、これまで行われてきたロープの天地振替は、その効果が極めて大きい。一方、従来の切り詰めは、端末加工部の劣化に対する危惧から定期的に数mずつ行われるのが普通であるが、そのような短い切り詰めではなく、コース元劣化区間全体を取り去るような長めの切り詰めが有効である。

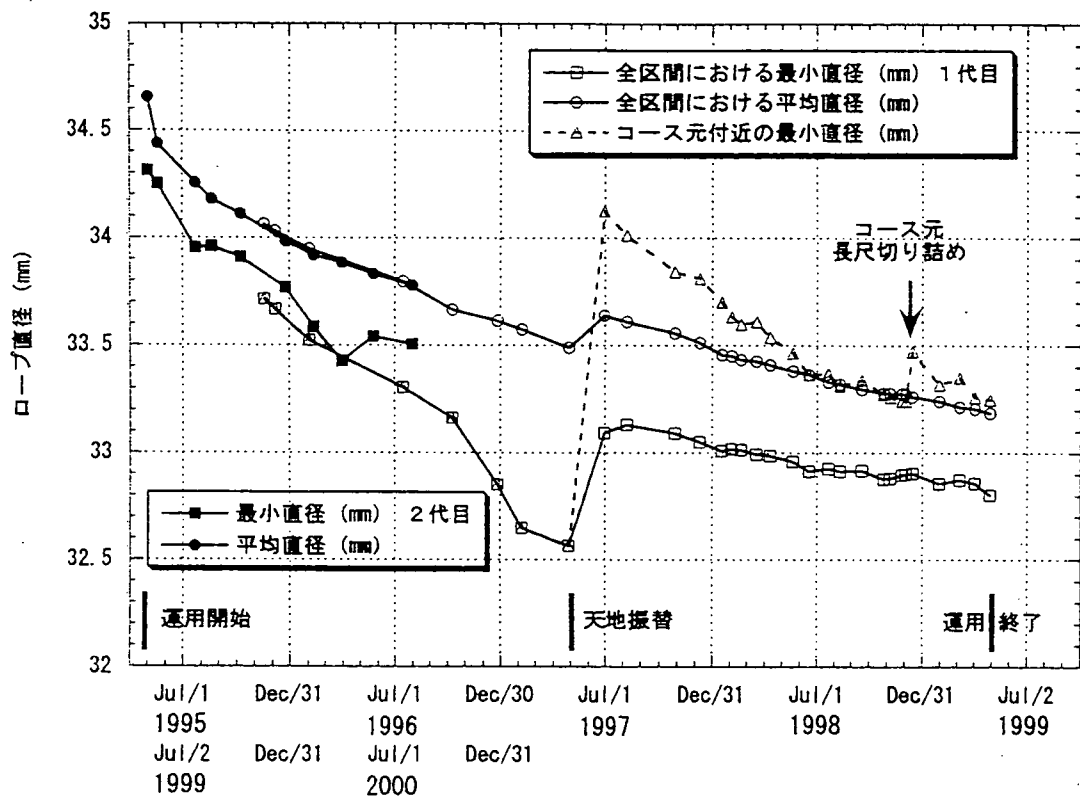


図-1 ロープ直径の推移

4. 設備機器保全の考え方

設備機器保全の考え方

設備機器の故障に対しては、適正な保全を行うことが必要である。設備機器の保全とは、設備機器の各部に対して点検、修理または部品交換を行うことをいう。機器保全の方式については、以下の方式に分類できる。

- ①定期点検
- ②故障等の発生に対応して行う事後保全
- ③予防保全

平均故障間隔時間から故障間時間のばらつき相当分を差し引く等の方法で定めた保全作業を行う方式であり、時間基準型保全という。

- ④予知保全

部品の状態をセンサー等で把握し、発生した劣化または軽度の欠陥を検出して経過を追跡し、その後の進展を予測して適切な時期に保全作業を行う方式である。状態基準型保全といい、予防保全より新しい方式である。

古くは、①及び②の方式がほとんどであり、現在でも一部の設備はこの種の方式のみによっており、この方式で対応することで十分である設備ではこの方式でよい。これらの方式は、故障等に対応する修理及び部品交換を目的としたものである。

しかし、故障発生の予防または局限化、あるいは設備の耐用寿命の積極的な確保にまで目的を広げた場合、③及び④の予防的保全方式を選択する傾向に進んでいる。

予防保全や予知保全を選択する上での留意点は、次の通りである。

- ・予備機器の有無

予備の機器があって、稼働中の機器が故障によって稼働できなくなったときに直ちに代替できることとする場合には、高度な保全方式をとる必要性は低く、通常は定期点検及び事後保全で対応できる。

- ・稼働中に故障を生じたときの影響の大きさ

予備の機器での対応ができない場合でも、故障による影響が小さいときには高度な保全方式をとる必要性は低くなり、通常は定期点検及び事後保全で対応できる。

- ・ 経済性

予備の機器での対応ができない場合で、しかも故障による影響が大きい場合には、予防保全、予知保全を採用することの経済性を評価して、どのような保全方式を採用するかを決める。

5. 超深地層研究所立坑 止水グラウト施工検討書

目 次

1. まえがき	添付 5- 1
2. 止水グラウト先進掘削工法の概要	添付 5- 2
3. 止水グラウト施工計画	添付 5- 2
(1) 探査ボーリング	添付 5- 2
(2) 止水グラウト	添付 5- 4
(a) 止水グラウト区間及び回数	添付 5- 4
(b) 注入孔規格	添付 5- 4
(c) 注入範囲	添付 5- 9
(d) 注入材料の選定	添付 5-10
4. 施工概要	添付 5-10
(1) 注入孔の穿孔	添付 5-10
(2) 注入作業	添付 5-10
(a) 透水テスト	添付 5-10
(b) 注入作業	添付 5-11
(c) 注入量の算定	添付 5-13
(3) 工事用機械設備	添付 5-14
5. 工事工程	添付 5-16

1. まえがき

立坑掘削時の湧水は、掘削能率の低下、コンクリートの品質劣化等、立坑掘削作業に多くの悪影響を及ぼす。超深地層研究所の立坑のように水抜きボーリング孔がなく、坑壁にポンプ座を設けポンプを中継して排水する方式では、湧水量が多くなるにつれて立坑掘削能率も悪くなる。一般に、このような中継ポンプ排水方式で掘削可能な湧水量は過去の経験から200l/min程度とされている。湧水量がこの値より多くなると、掘削能率は極端に悪くなり、ポンプの故障や停電事故等により立坑水没の危険性すらある。

したがって、このような湧水が考えられる場合には、予め補助工法等の湧水対策を事前に検討しておかなければならない。湧水対策としては以下のものが考えられる。

- ① 揚水ポンプ設備の増強
- ② 止水グラウト先進掘削工法
- ③ 凍結工法
- ④ ディープウエル工法

①の揚水設備の増強は、掘削能率の低下やポンプ故障または停電時の立坑水没の危険性は依然として残る。

③の凍結工法は有効な工法であるが、工期、工費がかさむ難点がある。

④のディープウエル工法は上越新幹線立坑で実績があるが、地下水を汲み上げ水位を下げる方式のため、水理試験を行う本立坑には適さない。また、この工法は停電や揚水ポンプの故障等により水位が上昇し、この水位を元通りに下げるのに多くの日数を要する難点がある。

②の止水グラウト先進掘削工法は、湧水のある地山を前もって注入によりウォータータイトにして掘削する工法で、湧水のある鉱山の立坑で施工実績が多く、本立坑でも掘削に支障を来すような湧水が予想される区間に適用できる有効な工法である。

止水グラウトは地下水理試験を考慮して、ゲルタイム調節によりグラウトが広範囲に浸透しないように管理可能であり、同時に地山の比抵抗を測定解析することによりグラウト浸透範囲の確認を行うこともできる。

本検討では、立坑の湧水が予想される深度250m付近の破碎帯区間を対象に、②の止水グラウト先進掘削工法についての概要を述べる。

2. 止水グラウト先進掘削工法の概要

止水グラウト先進掘削工法は、1ステップ長を15～30m（地質状況による）に取り、この区間を先ず探査ボーリングし、掘削に支障のある湧水を確認した場合には、掘削を一時中止し、この区間の止水グラウトを実施する。

次に、この止水グラウトによりウォータータイトになった区間を掘削する。しかし、最後の3～5m（地山状況による）は次の区間のカバーロック（グラウトの効いている地山）として掘削せずに残す。

1区間の掘削が終わると、また次の区間の探査ボーリング、止水グラウト、掘削作業と、この一連のサイクルを繰り返して立坑を掘り下がる工法が止水グラウト先進掘削工法である。なお、立坑掘削は、在来のショートステップ工法で施工するものとする。

3. 止水グラウト施工計画

(1) 探査ボーリング

立坑掘削前に行われる調査ボーリングで大まかな湧水状況は判断できるが、立坑掘削では、しばしば予期せぬ湧水に遭遇する場合がある。また、掘削により一旦出してしまった湧水を止めたり、集水する作業は非常に手間を要し、しかも十分にはできない。

したがって、湧水の予想される立坑では、実際の湧水量確認のため、掘削に先立って探査ボーリングを実施するのが一般的である。

探査ボーリングは、立坑深度20～35m（地山状況による）程度を1段階として、立坑外周に4本（対角線方向に）の探査ボーリングを行うのが普通である。

探査ボーリングの結果、湧水のある場合には止水グラウトを行うが、湧水のない場合にはカバーロック3～5m（地山状況による）を残して掘削を行い、また次段階の探査ボーリングを行う。

このように探査ボーリング、止水グラウト、掘削を繰り返して立坑掘削を行えば、不慮の湧水に出会うこともなく、能率的に立坑を掘り下げることができる。

本立坑では、下記の要領で探査ボーリング工事を計画する（図-1参照）。

探査区間長	65m（12.5m+40.0m+12.5m）
1回当たり探査ボーリング区間長	20m（穿孔作業の困難性を考慮）
カバーロック厚	5.0m（破碎帯につき厚く取る）
1回当たり探査ボーリング本数	4本/回（対角線方向）
ボーリング孔径及び長さ	φ55mm×21m

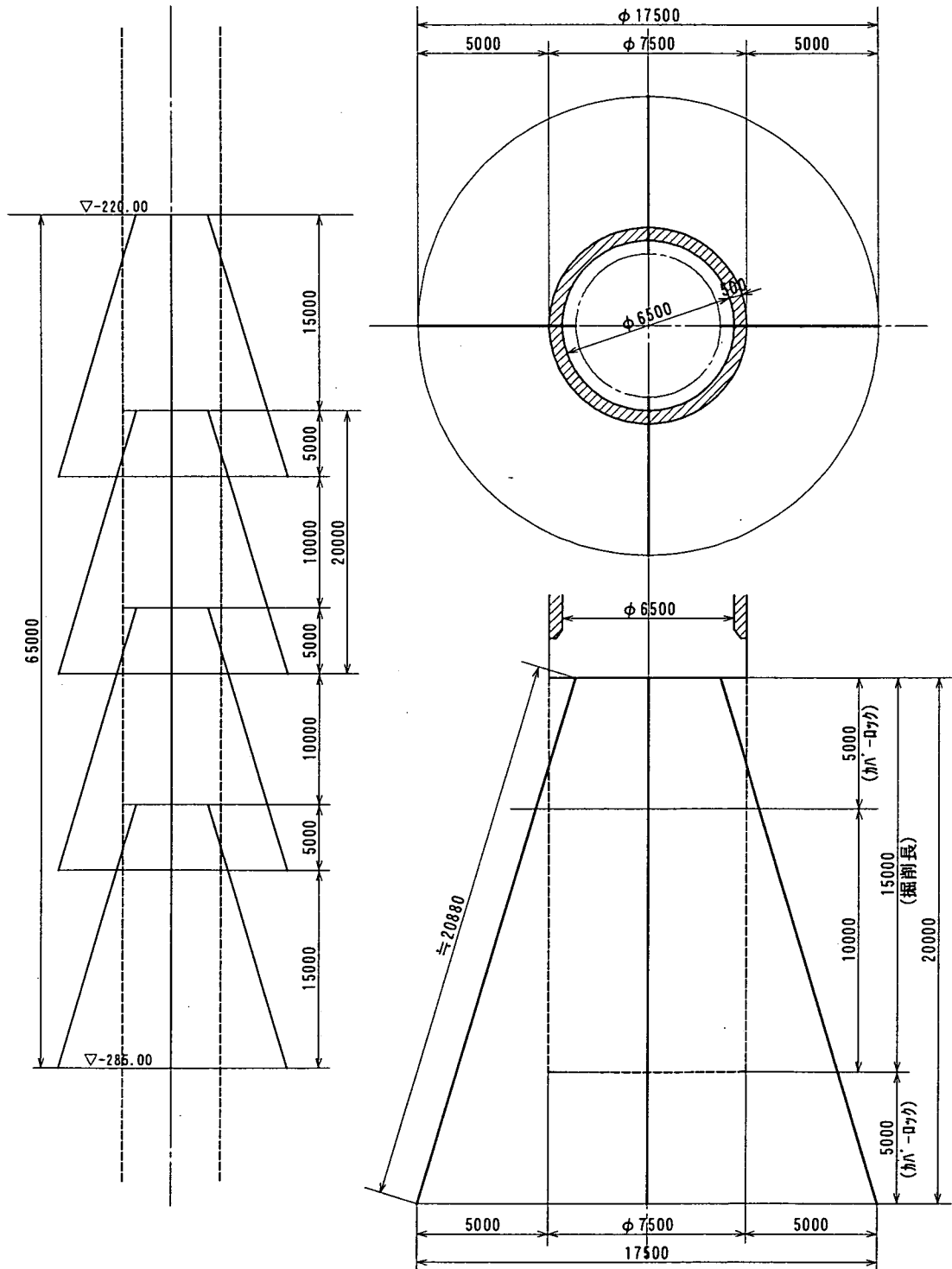
ボーリング方向及び範囲

立坑中心に対し放射方向で先端は掘削面より
5.0m 離す

探査ボーリング回数

4 回

図-1 探査ボーリング規格図 S=1/400、S=1/200



(2) 止水グラウト

探査ボーリングの結果、掘削に支障を来すような湧水のある場合には、直ちに止水グラウトを実施する（掘削の進行に伴い湧水は累積するので、初めのうちは少量の湧水でも止水グラウトを実施したほうが良い）。

(a) 止水グラウト区間及び回数

止水グラウト区間及び回数は、探査ボーリングと同じとする。

止水グラウト区間長	65m（破碎帯 40.0m+破碎帯上下 12.5m×2）
1 回当たり止水グラウト区間長	15m（穿孔作業の困難性を考慮）
カバーロック厚	5m（破碎帯につき厚く取る）
止水グラウト回数	4 回

(b) 注入孔規格

(イ) 注入孔の本数

注入孔の本数は、含水層の亀裂状況、破碎帯の状況、前回の注入効果などによりかなり増減するが、過去の実績では内径 5～6 m の立坑で 16～20 本、内径 7～8 m の立坑で 18～26 本となっている。

本立坑は内径が 6.5 m であり、標準的な 18 本の注入孔で計画する。

(ロ) 注入孔の方向

注入孔のボーリング方向としては、次の 3 方向が考えられる。

- ① 立坑中心に対して放射方向
- ② 立坑円周に対して接線方向
- ③ ①と②の中間方向

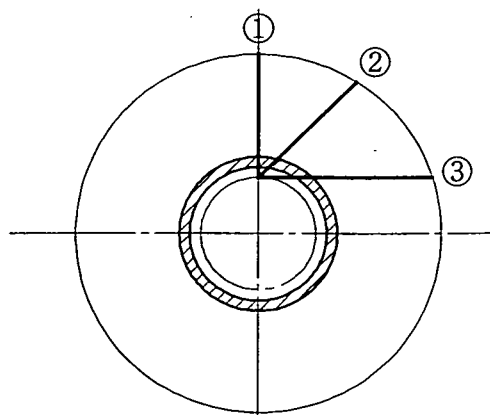


図-2 注入孔ボーリング方向

注入孔の穿孔は、なるべく多くの亀裂と交わるように行うのが望ましい。しかし、限られた立坑断面内で、含水層の上方より穿孔しなければならず、しかも下部地山の状況も不明であり、上記のような理想的穿孔は不可能である。上記3方向で③の立坑円周に対して接線方向が、穿孔長は若干長くなるが最も良い方向とされている。

しかし、本立坑では立坑内径が比較的小さく、専用の穿孔機（2台同時使用）の設置が困難であり、立坑掘削用シャフトジャンボを使用するために、穿孔方向合わせが容易な①の立坑中心に対して放射線方向を採用する。

(ハ) 注入孔の径

注入孔の径は、次のような条件を満足するように決定しなければならない。

- ① 使用機械に適合して、穿孔能率が良いこと
- ② 穿孔経費が安いこと
- ③ 穿孔後の坑内崩落が少ないこと
- ④ 穿孔の目的である注入の諸条件に適合していること

20～30mの注入孔ボーリングでは、一般にφ45～60mmの孔径が採用されている。本立坑では標準的なφ55mmの孔径で計画する。

(ニ) 注入孔の長さ

注入孔の長さは、穿孔機の性能や能率等により決定されるが、注入孔が浅いほど注入回数やカバーロックの総延長が増加して非常に不経済となる。反対に深くなればなるほど穿孔機の能率が低下し、穿孔に要する時間が長くなる。

注入孔の長さは、地質の悪い場合には10～20m、良好の場合は35m程度が一般に採用されている。本立坑では地質を考慮して20mとする。

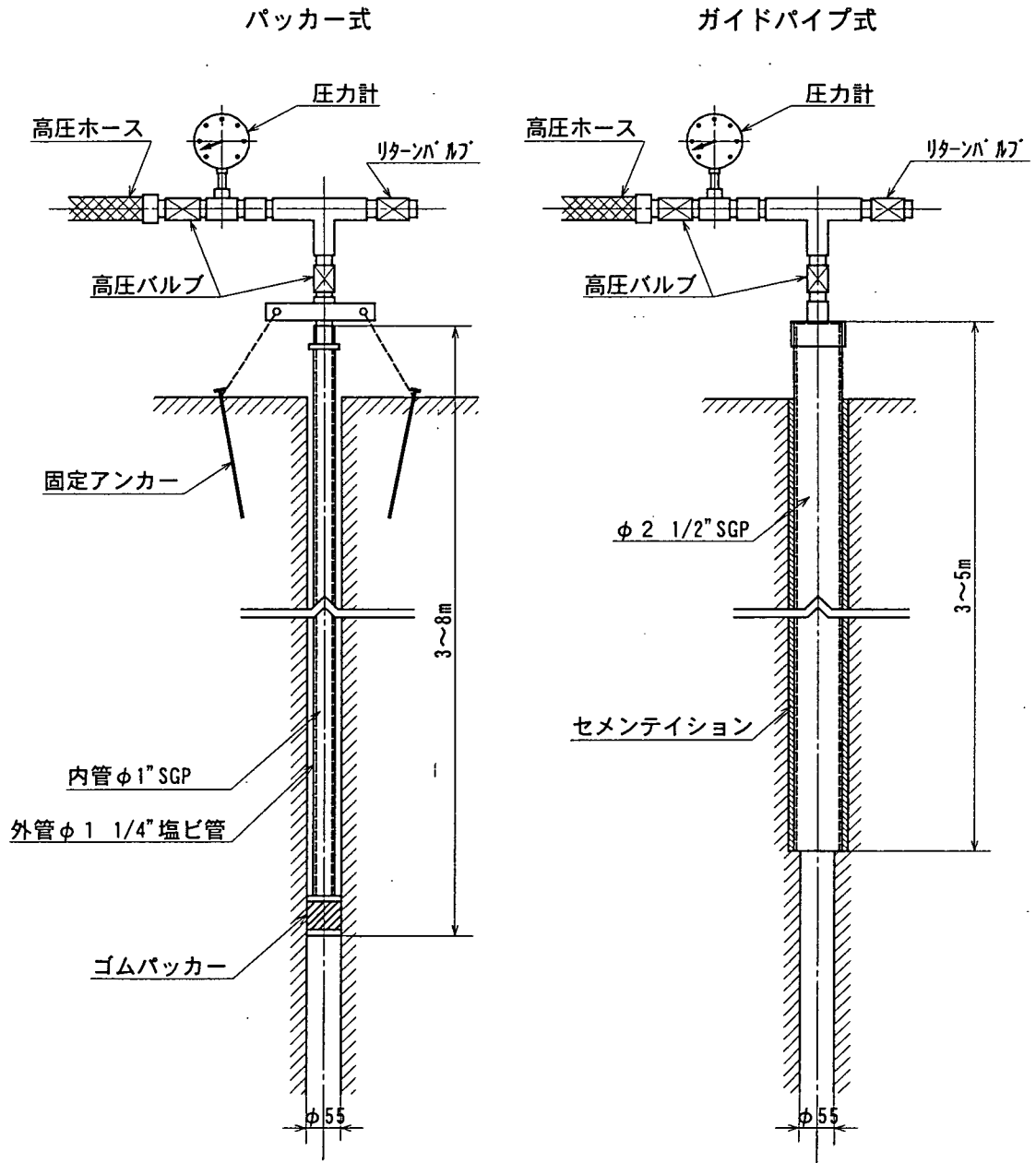
(ホ) スタンドパイプ

穿孔した注入孔には注入用スタンドパイプをセットする。このスタンドパイプにはパッカー方式とガイドパイプ方式がある（図-3参照）。

パッカー方式は、カバーロックの比較的良好なところで使用され、二重管方式でパッカーを締め付ける構造になっている。長さは3m前後のものが一般的であるが、地山状況により任意の長さのもので、任意の位置にパッカーを掛けることができる。

ガイドパイプ方式は、地質が悪く、パッカー方式では口元よりのリークが多いところで採用されている。この方式は、注入孔口元に3～5mのガイドパイプを挿入し、地山との空隙にモルタルを注入して固定し、これにバルブを取り付けてスタンドパイプとする。この方式は、リボーリングと注入を繰り返して行うステージ注入に多く採用されている。

図-3 スタンドパイプ構造図

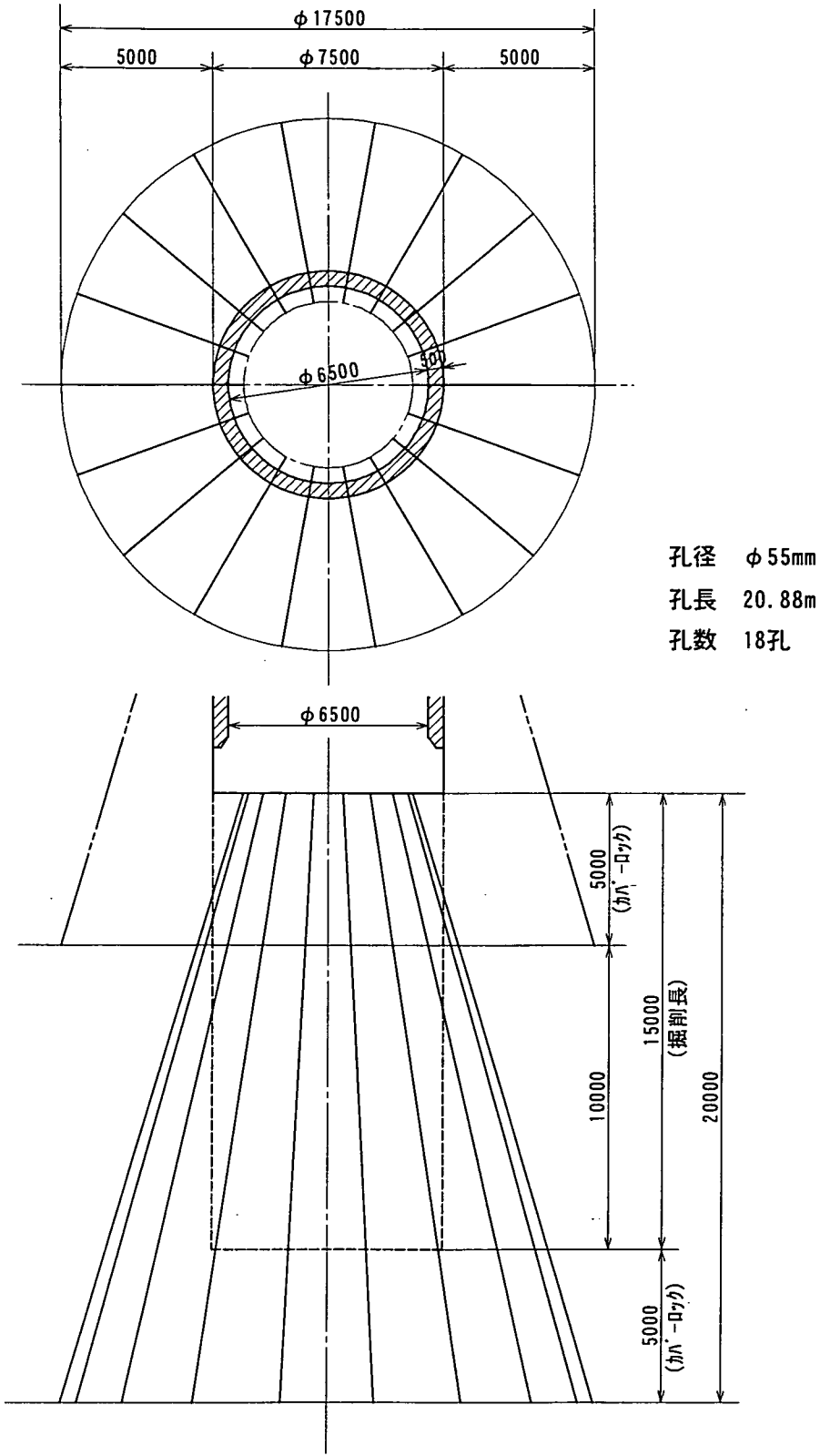


(へ) 注入孔規格

本立坑の注入孔は、以下の規格で計画する (図-4 参照)。

1 回当たり注入孔本数	18 本/回
注入孔径及び長さ	φ55mm×21m
注入孔方向及び範囲	立坑中心に対する放射線方向で先端は掘削面より 5.0m 離す
スタンドパイプ	ガイドパイプ方式

図-4 注入孔規格図 S=1/200



(c) 注入範囲

岩盤注入の場合、グラウトは注入孔と交わる亀裂中に浸入し、この空隙を充填する。その浸透範囲は亀裂の規模、亀裂の状況、注入法などによって異なり、極端な場合には数十メートルに及ぶことがある。しかし、注入量が極端に多くなりそうな場合には、ゲルタイム調節によりこれを防ぐことは可能であり、浸透範囲はあまり広く見込む必要はない。

トンネル半径を a 、注入領域半径を R とすると、青函トンネルの実績では

$$R/a = 1.45 \sim 4.63$$

となっている (表-1 参照)。

立坑の場合は、一般に掘削面より 5.0m の注入範囲を取っている。

したがって、本立坑では

$$a = 6.5/2 + 0.5 = 3.75\text{m}$$

$$R = 3.75 + 5.0 = 8.75\text{m}$$

$$R/a = 8.75/3.75 = 2.33$$

となり、上記トンネルの範囲内にある。

表-1 掘削半径と注入半径の実績 (青函トンネル)

(イ) 先進導坑

注入回数別	1	2	3~4	5	6~8	9~11	12	13	14~22	23	24	25~
掘削半径(a)	4.00	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	4.00	4.00	2.65	2.30	2.30	2.35
注入半径(R)	9.00	7.80	10.80	8.80	10.80	12.80	10.80	11.00	9.65	9.30	8.30	8.35
R/a	2.25	2.79	3.86	3.14	3.86	4.57	2.70	2.75	3.64	4.04	3.61	3.55
地質	Bs	Tf.br	Tf	Tf	lp.tf Tf	Tf Bs	Bs	Lp Bs	Lp.Tf Bs	Tf Bs	lp.tf Bs	lp.tf Bs

(ロ) 作業坑

注入回数別	材料運搬坑	ズリ出し斜坑	4~6	7~17	15~24	25~
掘削半径(a)	4.00	1.75	2.80	2.80	2.30	2.35
注入半径(R)	7.00	4.75	5.80	7.80	7.30	7.35
R/a	1.75	2.72	2.07	2.75	3.17	3.13
地質	Ad	Ad . Bs	Ad	Ad . Tf	lr	Tf.br Bs . Ad

(ハ) 斜坑その他

注入回数別	斜坑	斜坑	斜坑43回	ポンプ座 P1,P2	ポンプ座 P3,P4	ズリ出し斜坑	本坑
掘削半径(a)	3.30	3.30	3.30	3.85	3.30	2.10	5.50
注入半径(R)	4.80	6.30	15.30	8.85	8.30	7.10	13.50~17.50
R/a	1.45	1.91	4.63	2.80	2.52	3.38	2.46~3.20
地質	Ad . Bs	Ad . Bs	F15断層	lp.tf . Bs	lp.tf	Tf	Ad

Bs: 玄武岩, Ad: 安山岩, Lp: 石英粗面岩, Tf: 凝灰岩, Tf.br: 凝灰角礫岩, lp.tf: 火山礫凝灰岩

ジオン値を用いる。1ルジオンとは、5mのボーリング孔長で、1mにつき10 kg/cm²の圧力下で1l/minの水が岩盤中に圧入されることを意味する。

注入圧力が10kg/cm²以外の場合には、次式で換算ルジオン値を求めることができる。

$$L_u = \frac{(10 \times Q)}{(P \times L)}$$

ここに、L_u = 換算ルジオン値

Q = 注水量 (l/min)

P = 注入圧 (kg/cm²)

L = 試験区間 (m)

また、次式で透水係数Kを求めることができる。

$$K = \frac{Q}{2 \times \pi \times L \times H} \log_e \frac{L}{r}$$

ここに、K = 透水係数 (cm/sec)

Q = 透水量 (cm³/sec)

r = 試験孔の半径 (cm)

L = 試験孔の長さ (cm)

H = 重力水頭 + 加圧水頭 (cm)

(b) 注入作業

注入作業は、原則として坑外に注入機設備（ポンプ4セット）を設置して行う。注入材料は、立坑内に布設したφ1"注入管（4系列）、坑底切羽の高圧ホース、スタンドパイプを經由して注入孔へ送り込まれる（1ショット注入）。なお、ゲルタイム調節の必要な薬液注入の場合には、坑底切羽に注入ポンプを持ち込んで行う（Y管を用いた1.5ショット注入）。

注入材料は、セメントミルクを主体とするが、亀裂が大きく大量の注入が予想されるところではLWを、破碎帯等でセメントミルクの浸透が困難な場合には、水ガラス系溶液型薬液を使用する。

注入開始時の配合は、水押テストのルジオン値より、表-2を基準とする。

表-2 換算ルジオン値と初期配合

換算ルジオン値	0 < L _u ≤ 20	20 < L _u
初期配合	1:8	1:6

単位注入量は10~30l/min（平均20l/min）で、濃度の切り替えは表-3の基準に従って行う。

(d) 注入材料の選定

注入材料の選定に当たっては、注入の目的及び地盤条件にかなうもので、安価なものを選ばなければならない。本立坑の注入材としては、施工性、注入効果の点から次のような性状を満足しなければならない。

- ①高圧湧水の止水材料であり、かつ軟弱な破碎帯の改良材料でもあることから、強度の期待できるものであること
- ②地山に所定の止水範囲を能率良く作るために、浸透性に優れていること
- ③作業性が良いこと
- ④材料が容易に入手できて、安価であること
- ⑤取り扱いが容易で、人体に無害なもの

以上の条件を満たすものとして、本立坑の注入材としては、高炉セメントB種を主材とし、注入中にリークが発生したり、大量の注入（浸透範囲が大きい）が予想される場合には、副材として懸濁液型のLWを使用する。

4. 施工概要

(1) 注入孔の穿孔

注入孔の穿孔には立坑掘削用の3ブーム・シャフトジャンボ（2ブーム同時使用）を使用し、穿孔能率の向上を図る。

穿孔は、先ずφ100mmビットで4.0m穿孔し、ガイドパイプ（2・1/2in×4.5m）を挿入してセメントモルタルにて固定する。

養生を待って、このガイドパイプの中よりφ55mmクロスビットにて所定の深さまで穿孔する。

穿孔は、先ず立坑中心に対して対称の位置より開始し、穿孔と注入を交互に繰り返しながら、未注入部分をせばめていく中間挿入法で進める。

(2) 注入作業

(a) 水押テスト

穿孔、スタンドパイプのセットが終わると、注入作業に先立って、水押テストを行う。この水押テストは、これから注入する岩盤内空隙の諸性状をつかみ、注入時の状況判断に役立たせるために行うものである。

岩盤内空隙へポンプで圧力水を注入し、圧力と注水量の関係を求める。この場合、水を10kg/cm²の一定圧力で10分間以上注入するのが原則となっており、透水度の単位としてル

表-3 注入濃度切り替え基準

セメントミルク濃度	1:8	1:6	1:4	1:3	1:2	1:1
注入継続時間(min)	120	120	120	120	60	-

(イ) 注入している濃度で圧力の上昇が見られる間は、濃度を変えない。

(注) 注入圧が上がりきれば注入終了(湧水圧力の3倍)

(ロ) 注入圧力が注入中の濃度で上記に規定された時間内に上昇しない場合は、濃度を一段濃くする。

(ハ) 濃度を上げて圧力が急上昇する場合は、直ちに前の一段薄い濃度に戻す。

注入材の配合を表-4、表-5に示す。

表-4 セメントミルク配合(200l当たり)

配合比(C:W)	セメント量(kg)	セメント袋数(袋)	水量(l)	セメントミルク量(l)	セメント固結容積(l)	備考
1:8	24	0.6	193	200	16	
1:7	28	0.7	191	200	18	
1:6	32	0.8	190	200	21	
1:5	40	1.0	188	200	24	※数量計算
1:4	48	1.2	185	200	31	
1:3	60	1.5	180	200	42	
1:2	84	2.1	173	200	58	
1:1	152	3.8	152	200	101	

当計画の注入量算定には平均配合としてC:W=1:5を採用

注入回数=固結容積×(200l/24l)

セメント袋数=固結容積×(40kg/24l)÷40kg/袋

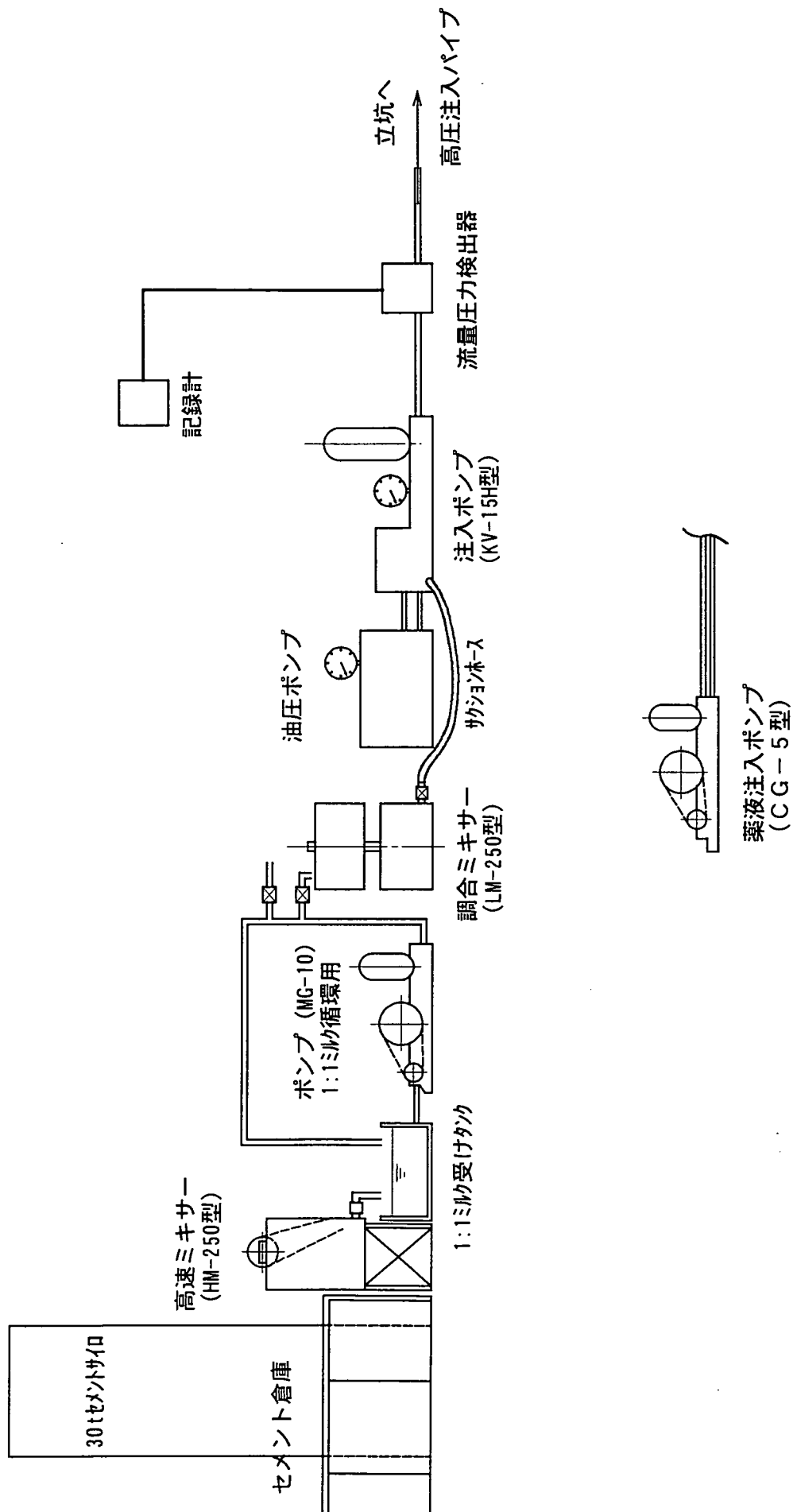
表-5 LW配合

A液(200l)		B液(200l)			
珪酸ソーダ	100l	濃度(C:W)	セメント量(kg)	水量(l)	備考
水	100l	1:3	60.0	180	400l
		1:2	86.4	171	400l
		1:1.5	110.6	165	400l
		1:1	151.4	150	

LWのB液濃度は1:3より開始し、400l(A液+B液)注入時点で圧力上昇のない場合は順次1:2 → 1:1.5 → 1:1に切り替える。

最大注入圧力は湧水圧の3倍とする。

図-5 注入設備編成図



(c) 注入量の算定

注入対象岩盤範囲は、立坑掘削面より外側 5.0m (半径=3.25+0.5+5.0=8.75m) の円柱とする。したがって、注入対象岩盤体積 (V) は、注入区間長が L=15m/回×4 回=60m であるから

$$V = \pi \times 8.75^2 \times 60\text{m} = 14,432\text{m}^3$$

注入量は、破碎帯岩盤の空隙率、填充率を次のように想定して一般式で求めると、次の通りである。なお、この値は想定値であり、注入実績に応じて修正しなければならない。

$$Q = V \times n \times \alpha \times (1 + \beta) \times 1000$$

ここに、Q=注入固結容積 (l)

V=注入対象岩盤体積 (m³)

n=空隙率= 5%

α=填充率= 60%

β=損 率= 5%

表-6 注入数量

項 目	単 位	数 量	備 考
注入工事区分長	m	60	
注入区間の断面積	m ²	240.53	
注入対象岩盤体積	m ³	14,432	
注入率 (n×α(1+β))		0.0315	0.05×0.6×1.05
注入固結容積	l	454,608	
注入セメント量	Kg	757,680	
注入セメント袋数	袋	18,942	
注入ミルク量	l	3,788,400	

(参考資料)

青函トンネル全体の注入率

先進導坑	竜飛側	2.38%
	吉岡側	2.44%
作業坑	竜飛側	0.76%
	吉岡側	1.11%
本 坑	竜飛側	1.36%
	吉岡側	2.53%

(3) 止水工用機械設備

止水工用機械設備の仕様を表-7に、注入設備の編成図を図-5に示す。

表-7 止水工用機械設備仕様一覧

名 称	数 量	仕 様
試錐機	1 台	3ブーム油圧シャフトジャンボ
同上吊り装置	1 台	門型クレーン
シャンクロッド	1 式	φ32 ロ-プネジ スイベル付き
ロッド、スリーブ	1 式	φ32 ロ-プネジ L=3.0m
ビット	1 式	φ55 クロビット
モルタル循環ポンプ	1 台	MG-10型 7.5kW
高速ミキサー	1 台	HM-250型 5.5kW
グラウトミキサー	4 台	LAM-250型 2.2kW 縦型二段槽 2001×2
グラウトポンプ	4 台	KV-15H型 11kW 定圧自動変量型 吐出量 0~130l/min 吐出圧 8~58kg/cm ²
薬液注入ポンプ	1 台	CG-5型 3.7kW 2液型2連式
グラウト流量・圧力測定装置	4 台	記録式 120l/min 60kg/cm ²
注入用配管	1 式	φ1"×5条 (250m×5) (水管 1)
給水ポンプ	1 台	3.7kW
水中ポンプ	1 台	5.5kW 高揚程型
注入機室、セメント倉庫	28 坪	組立ハウス
セメントサイロ	1 基	30t 0.75kW

5. 工事工程

本工事区間は、破碎帯で全区間湧水があるものとする。したがって、探査ボーリング孔はそのまま止水グラウト孔となる。

(1) 止水グラウト回数 4回

(2) 1回当たり注入工期

穿孔、注入準備 -----	1 日
掘削設備片付け、注入管延長その他	
最初の穿孔、スタンドパイプセット（探査孔 4 孔） -----	1 日
削岩機 2 台使用	
注入日数 -----	12 日
注入対象岩盤体積 $240.5\text{m}^2 \times 15\text{m} = 3,608\text{m}^3$	
注入固結容積 $3,608\text{m}^3 \times 0.0315 \times 1,0001/\text{m}^3 = 113,6521$	
注入量 $113,6521 \times 2001 \div 241 = 947,1001$	
注入ポンプ 1 台当たり注入量は	
$947,1001 \div 4 \text{ 台} = 236,7751$	
平均注入能率を 20l/min とすると	
注入時間は $236,7751 \div 20\text{l}/\text{min} = 11,839\text{min} = 197\text{hr}$	
1 日当たり注入時間 $24\text{hr} \times 0.65 \text{ (中断、穿孔)} = 16\text{hr}/\text{日}$	
注入日数 $197\text{hr} \div 16\text{hr}/\text{日} \approx 12 \text{ 日}$	
後片付け -----	1 日
<hr/> 1 回当たり注入工期	<hr/> 15 日

(3) 工期計

止水グラウト工事 ----- 60 日 (2.6 月)

$15 \text{ 日}/\text{回} \times 4 \text{ 回} = 60 \text{ 日}$